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.

II.1.1 Kompartemen Pabrik I

Kompartemen pabrik I memiliki 2 departemen produksi, yakni departemen produksi IA dan IB. Departemen produksi IA merupakan unit kerja yang memproduksi pupuk berbahan baku amonia dan urea serta ZA. Departemen produksi IB merupakan unit kerja yang memproduksi pupuk berbahan baku amonia.

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 karbon dioksida
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 Kompartemen Pabrik II

Kompartemen II terdiri dari 2 departemen produksi, yakni departemen produksi IIA dan departemen IIB. Departemen IIA merupakan unit kerja yang memproduksi pupuk berbahan baku nitrogen phospat dan kalium. Pabrik pupuk fosfat

a) Pabrik pupuk fosfat I
   Tahun berdiri : 1979
   Kapasitas produksi : 500.000 ton/tahun
   Bahan baku : Fosfat rock
b) Pabrik pupuk fosfat II
   Tahun berdiri : 1983
   Kapasitas produksi : 500.000 ton/tahun
   Bahan baku : Fosfat rock

1. Pabrik Phonska
   a) Pabrik pupuk phonska I
      Kapasitas : 450.000 ton/tahun
      Tahun operasi : 2000
      Bahan baku : Amonia, asam fosfat, asam sulfat, belerang dan filler
   b) Pabrik pupuk phonska II
      Kapasitas : 600.000 ton/tahun

Tahun operasi : 2005
Bahan baku : Amonia, asam fosfat, asam sulfat, belerang dan filler

c) Pabrik pupuk phonska III
Kapasitas : 600.000 ton/tahun
Tahun operasi : 2009
Bahan baku : Amonia, asam fosfat, asam sulfat, belerang dan filler

d) Pabrik pupuk phonska IV
Kapasitas : 600.000 ton/tahun
Tahun operasi : 2011
Bahan baku : Amonia, asam fosfat, asam sulfat, belerang dan filler.

2. Pabrik Pupuk NPK

a) Pabrik pupuk NPK I
Tahun berdiri : 2005
Kapasitas produksi : 70.000 ton/tahun
Bahan baku : DAP, Urea, ZA, KCl dan filler

b) Pabrik pupuk NPK II
Tahun berdiri : 2008
Kapasitas produksi : 100.000 ton/tahun
Bahan baku : DAP, Urea, ZA, KCl dan filler

c) Pabrik pupuk NPK III
Tahun berdiri : 2009
Kapasitas produksi : 100.000 ton/tahun
Bahan baku : DAP, Urea, ZA, KCl dan filler

d) Pabrik pupuk NPK IV
Tahun berdiri : 2009
Kapasitas produksi : 100.000 ton/tahun
Bahan baku : DAP, Urea, ZA, KCl dan filler

e) Pabrik pupuk NPK Blending

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

3. Pabrik Pupuk K_2SO_4 atau ZK
   Tahun berdiri : 2005
   Kapasitas produksi : 10.000 ton/tahun
   Bahan baku : H_2SO_4 dan KCl

II.1.3 Kompartemen Pabrik III

Kompartemen III terdiri dari 2 departemen produksi, yakni departemen produksi IIIA dan departemen IIIB. 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 : 400.000 ton/tahun
   Bahan baku : Phospate rock
2. Pabrik Asam Sulfat
   Tahun berdiri : 1985
   Kapasitas produksi : 1.170.000 ton/tahun
   Bahan baku : Belerang dan H_2O
3. Pabrik ZA II
   Tahun berdiri : 1985
   Kapasitas produksi : 440.000 ton/tahun
   Bahan baku : Amonia, asam fosfat, dan CO_2

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

1. Pabrik asam fosfat (PA Plant)
   Kapasitas produksi : 610 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 (100% H2SO4)

   Konfigurasi proses : Purifikasi

II.1.3.1 Kompartemen Pabrik III

Pabrik PA berkapasitas 610 ton P_2O_5/hari. Teknologi proses yang digunakan adalah Nissan C Process. Proses ini diklasifikasikan dalam kat egori pembuatan PA dengan proses hemihidrat-dihidrat. Pabrik ini terdiri dari beberapa seksi, antara lain:

a) *Rockgrinding unit*
b) *Hemihydrate reaction and filtration unit*
c) *Conversion (hydration) dan dihydrate filtration*
d) *Fluorine recovery*
e) *Concentration unit*

Berikut dibawah ini merupakan alur proses dari unit produksi asam fosfat, yang di awali dengan bahan baku hingga menjadi produk.

1. Bahan baku

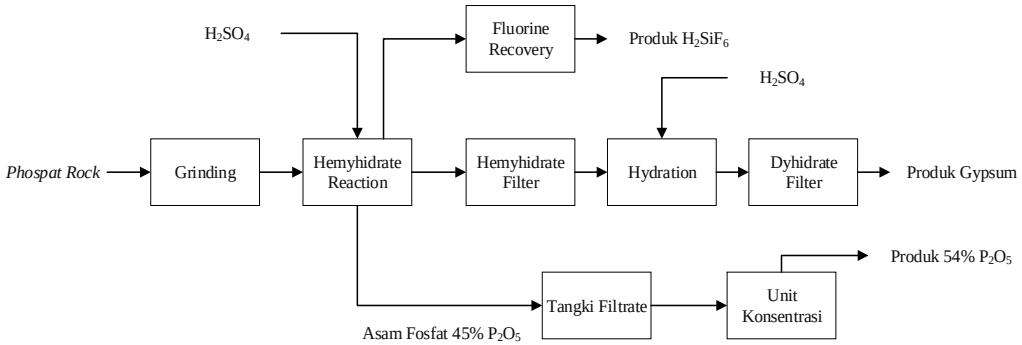
Bahan baku yang digunakan adalah phosphate rock. Asam sulfat, air proses, dan steam. Bahan kimia yang dipakai dalam proses adalah defoaming agent dan silika yang merupakan produk samping pabrik alumunium fluorida

a) Phospate rock
   1) Ukuran partikel dari ground rock (Lolos 2 mm 99% ; Lolos 1 mm 95% ; Lolos 32 tyler mesh 80% ; Lolos 100 tyler mesh 33%)
   2) Kadar air maksimum 4% on wet basis, normal 1%. Sebaiknya digunakan phospate rock dengan kadar air rendah karena jika kadar air tinggi maka akan sulit mengatur water balance juga kadar P_2O_5

dalam hasil pertama filtrasi atau P_2O_5 recovery yang tinggi dari Rock karena menurunnya cake washing water .

b) Asam sulfat

Konsentrasi dari asam sulfat yang diperlukan adalah 98,5% H_2SO_4. Bila konsentrasi asam sulfat terlalu rendah maka akan mempengaruhi *water balance* juga kadar P_2O_5 dalam produk asam fosfat atau juga SiO_2 recovery dari phosphate rock.



Gambar II.1 Blok Diagram Plant Asam Fosfat

2. Uraian Proses

Phosphate rock sebagai bahan baku utama pada pembuatan asam fosfat dihancurkan dalam grinder yang kemudian dihaluskan dengan screen and ball mill untuk umpan reaksi. Proses reaksi antara phosphate rock dengan asam sulfat menjadi fosfat terjadi dalam reaktor dengan suhu 90-104°C dan tekanan 1 atm. Reaksi yang terjadi ialah:

$$Ca_3(PO_4)2(s) + 3H_2SO_4(l) + 6H_2O(l) \rightarrow 3CaSO_4.2H_2O(aq) + 2H_3(g)$$

Selanjutnya dilakukan penyerapan SiF4 dan HF dengan menggunakan larutan H_2SiF_6 encer sehingga menjadi $H_2SiF_6PO_4$ dengan konsentrasi 18-20%. *Hemyhidrate slurry* melalui proses filtrasi di mana filtrat dari filtrasi kedua digunakan sebagai return acid. Kemudian dilanjutkan dengan proses hidrasi hemyhidrate cake dengan asam sulfat. Filtrat dari proses filtrasi dehydrate slurry digunakan untuk pencucian pada *hemyfilter* sedangkan cake dijadikan produk berupa *phospho gypsum*. Hasil filtrat yang awalnya memiliki kadar P_2O_5 45% dipekatkan menjadi asam fosfat pekat 54%.

II.2 Uraian Tugas Khusus

II.2.1 *Heat Exchanger*

Heat exchanger adalah salah satu perangkat yang paling banyak digunakan di industri untuk mengatur perpindahan panas secara efisien di industri aplikasi proses. Terdapat beberapa fakta bahwa setiap proses yang melibatkan pemanasan, pendinginan, mendidih, kondensasi atau penguapan akan membutuhkan heat exchanger untuk fungsi-fungsi ini. Cairan proses, biasanya adalah dipanaskan atau didinginkan sebelum proses atau mengalami fase mengubah. Heat exchanger biasanya digunakan untuk memproses pendinginan cair atau gas, proses kondensasi uap, proses penguapan cairan, dan banyak lagi aplikasi industri lainnya. Jumlah panas yang ditransfer menggunakan lebih sedikit luas permukaan dan penurunan tekanan adalah untuk ukuran kinerja dan efisiensi penukar panas. Alat penukar kalor *(Heat Exchanger)* merupakan suatu peralatan yang digunakan untuk menukarkan kalor dari suatu fluida ke fluida lain yang memiliki perbedaan suhu, penukaran kalor tersebut dapat terjadi melalui kontak langsung maupun secara kontak tidak langsung. Fluida yang bertukar dapat berupa fluida yang sama fasanya (cair ke cair atau gas ke gas) atau dua fluida yang berbeda fasanya. Karena fungsinya yang sangat penting, maka alat ini digunakan secara luas dalam dunia industri.

A. Klasifikasi *Heat Exchenger* Berdasarkan Fungsinya

1. Kondensor

   Peranti kalor khusus yang digunakan untuk mencairkan uap dengan mengambil kalor tentunya disebut kondensor *(condenser)*. Kalor laten itu diambil dengan menyerapnya kedalam zat cair yang lebih dingin yang disebut pendingin *(coolant)*. Karena suhu pendingin didalam kondensor itu tentu meningkat karena itu, maka alat itu dengan demikian juga bekerja sebagai pemanas.

2. *Cooler-Chiller*

   Berfungsi memindahkan panas, baik panas sensibel maupun panas laten fluida yangberbentuk uap kepada media pendingin, sehingga terjadi

perubahan fasa uap menjadi cair. Media pendingin biasanya digunakan air atau udara.

3. Ketel Didih

   Alat didih jenis ketel *(kettle type boiler)* atau disebut juga pendidih ulang (reboiler). Selongsong horisontal disini berisi suatu berkas tabung yang relatif kecil, dua lintas pada sisi tabung dengan kepala kambang dan plat tabung. Umpan dimasukkan dari bawah ke dalam kolam zat cair itu.

4. Kalandria

   Unit – unit selongsong dan tabung dalam susunan vertikal dikenal dengan nama kalandria atau pendidih ulang sirkulasi alamiah atau pendidih ulang termosifon biasanya merupakan alat penguap yang paling ekonomis untuk operasi distilasi dan evaporasi. Zat cair dari evaporator atau kolom distilasi memasuki bagian bawah unit, dan sebagian diuapkan didalam tabung yang dipanaskan (Mc. Cabe, 1991).

5. Heater

   Heater digunakan untuk memanaskan fluida atau memberikan *sensible heat* pada liquid atau gas dengan *condensing steam*.

6. Evaporator

   Evaporator adalah komponen pada sistem pendingin yang berfungsi sebagai penukar kalor, serta bertugas menguapkan refrigerant dalam sistem, sebelum dihisap oleh kompresor. Evaporator adalah sebuah alat yang berfungsi mengubah sebagian atau keseluruhan sebuah pelarut dari sebuah larutan dari bentuk cair menjadi uap.

(Walikrom, 2017)

B. Prinsip Kerja *Heat Exchenger*

Prinsip kerja *heat exchanger* yaitu memindahkan panas dari dua fluida pada temperatur berbeda di mana transfer panas dapat dilakukan secara langsung ataupun tidak langsung.

1. Secara kontak langsung

   Panas yang dipindahkan antara fluida panas dan dingin melalui permukaan kontak langsung berarti tidak ada dinding antara kedua fluida. Transfer panas yang terjadi yaitu melalui *interfase* / penghubung antara kedua fluida. Contoh: aliran steam pada kontak langsung yaitu dua zat cair yang *immiscible* (tidak dapat bercampur), gas-liquid, dan partikel padat kombinasi fluida.

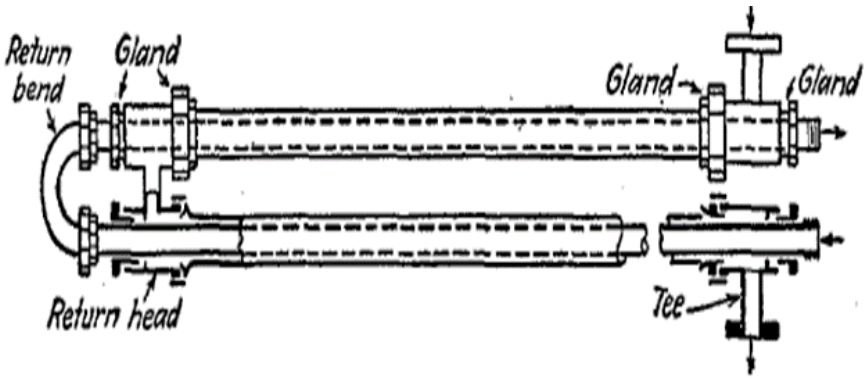
2. Secara kontak tak langsung

   Perpindahan panas terjadi antara fluida panas dan dingin melalui dinding pemisah. Dalam sistem ini, kedua fluida akan mengalir (Holman, 1986).

C. Klasifikasi Heat Exchenger

a) Jenis *Heat Exchanger* Berdasarkan Bentuknya Berdasarkan bentuknya, *heat exchanger* terdiri dari beberapa jenis diantaranya *double pipe exchanger* dan *shell and tube heat exchanger*.

1) *Double Pipe Exchanger*



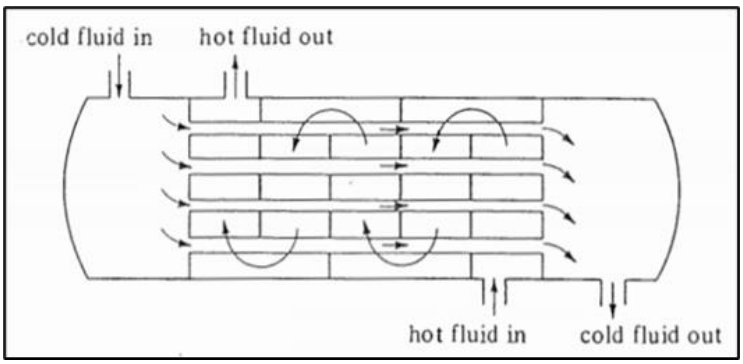
Gambar II.2 *Double Pipe Exchanger*

Double Pipe Exchanger adalah alat penukar panas yang terdiri dari 2 pipa (annulus = luar dan pipa dalam = dalam). Aliran fluida dari dalam dan luar sehingga terjadi transfer panas sepanjang aliran pipa. Bagian utama dari *double pipe exchanger* adalah pipa konsentris, pipa sambungan tee, return head dan return bend. Pipa bagian dalam dan pipa luar dilindungi dengan gland packing, dan fluida memasuki pipa bagian dalam melalui pipa konsentris yang terletak di luar bagian *exchanger*. Pipa tee memiliki nozel atau sambungan disekrup yang melekat untuk memungkinkan masuk dan

keluarnya fluida *annulus* yang melintasi dari pipa satu ke pipa lainnya *return* head. Dua panjang pipa bagian dalam dihubungkan dengan *return bend* yang biasanya terbuka dan tidak memberikan permukaan perpindahan panas yang efektif (Kern, 1983).

b) *Shell and Tube Heat Exchanger*

Shell and tube heat exchanger merupakan jenis alat penukar panas yang banyak digunakan. Dalam suatu *shell and tube heat exchanger*, fluida yang satu mengalir dalam pipa-pipa kecil *(tube)* dan fluida yang lain mengalir melalui selongsong *(shell)*. Perpindahan panas dapat terjadi di antara kedua fluida, dimana panas akan mengalir dari fluida bersuhu lebih tinggi ke fluida bersuhu lebih rendah. Umumnya, aliran fluida dalam *shell and tube heat exchanger* adalah paralel atau berlawanan. Untuk membuat aliran fluida dalam *shell-and-tube heat exchanger* menjadi *cross flow* biasanya ditambahkan penyekat atau baffle. Aliran *cross flow* yang didapat dengan menambahkan baffle akan membuat luas kontak fluida dalam shell dengan dinding tube makin besar, sehingga perpindahan panas di antara kedua fluida meningkat. Selain untuk mengarahkan aliran agar menjadi *cross flow*, baffle juga berguna untuk menjaga supaya tube tidak melengkung (berfungsi sebagai penyangga) dan mengurangi kemungkinan adanya vibrasi atau getaran oleh aliran fluida (Handoyo, 2021).



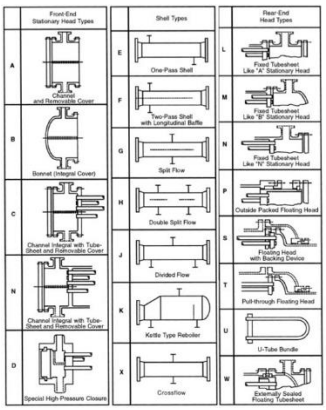
Gambar II.3 *Shell and Tube Heat Exchanger*

D. Komponen dalam *Shell and Tube Heat Exchanger*

Komponen yang sangat berpengaruh pada konstruksi *heat exchanger* jenis *shell and tube* adalah sebagai berikut:

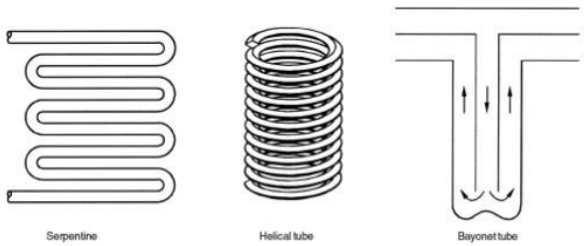
1) *Shell*

Konstruksi dari *shell* ini bergantung pada kondisi tube yang akan ditempatkan di dalam shell dan temperatur fluida yang akan mengalir dalam shell tersebut. Untuk tempratur yang sangat tinggi, kadang diberi sambungan ekspansi. Biasanya *shell* dalam sebuah *heat exchanger* berbentuk bulat memanjang (silinder) yang berisi tube bundle sekaligus sebagai wadah mengalirkan zat atau fluida. Untuk kemungkinan korosi, tebal shell sering diberi kelebihan 1/8 inch. Pembagian tipe *shell* dibagi berdasarkan *front-end stationary head type, shell type, dan rear head type*.



Gambar II.4 Macam – macam *shell*

2) Tube

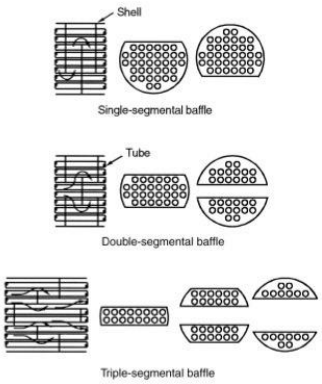


Gambar II.5 Macam – macam *Tube*

Tube pada sebuah *Heat Exchanger* biasanya berupa pipa-pipa kecil dalam jumlah tertentu dan dalam diameter tertentu pula. Diameter dalam

tube merupakan diameter dalam aktual dalam ukuran inchi, dengan toleransi yang sangat tepat. Tube dapat dibuat dari berbagai jenis logam seperti besi, tembaga, muniz metal, perunggu, 70-30 tembaga-nikel, aluminium perunggu, aluminium dan stainless steel. Untuk ukuran ketebalan pipa tube yang berbeda-beda dinyatakan dalam bilangan yang disebut "*Birmingham Wire Gage*" (BWG). Ukuran pipa tersebut secara umum biasanya digunakan dengan mengikuti ukuran-ukuran yang telah baku. Semakin besar bilangan BWG maka semakin tipis tubenya. Tube dalam shell memiliki beberapa jenis susunan. Susunan yang lazim digunakan adalah segitiga *(triangular)*, persegi *(square)*, dan diamond *(rotated square)*.

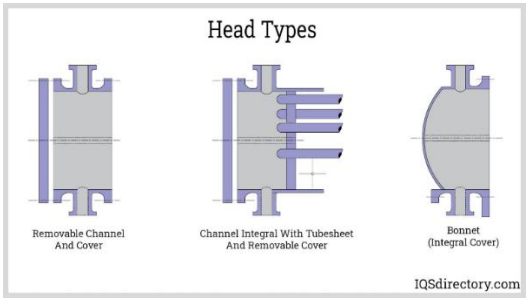
3) Sekat *(Baffle)*



Gambar II.6 Macam – macam Sekat *(Baffel)*

Baffle merupakan bagian yang penting dari alat penukar panas. Kondisi kecepatan aliran baik dalam *shell* maupun *tube* dapat diatur oleh *baffle*. Fungsi *baffle* ini adalah untuk membuat aliran turbulen sehingga perpindahan panas menjadi lebih baik, dimana harga koefisien perpindahan panas yang didapat besar serta menambah waktu tinggal *(residence time)*. Tetapi pemasnagan *baffle* akan memperbesar pressure drop operasi dan menambah beban kerja pompa, sehingga laju alir fluida yang dipertukarkan panasnya harus diatur. Luas *baffle* ± 75% dari penampungan shell. Spasi antar *baffle* tidak lebih dekat dari 1/5 diameter shell karena apabila terlalu dekat akan didapat kehilangan tekanan yang besar.

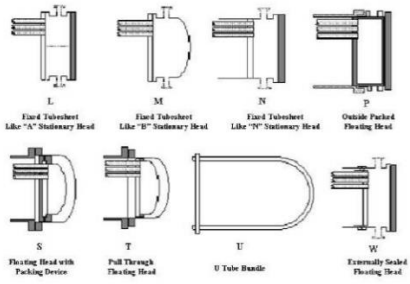
4) Channel Cover



Gambar II.7 Channel Cover

Tutup yang dapat dibuka saat pemeriksaan dan pembersihan.

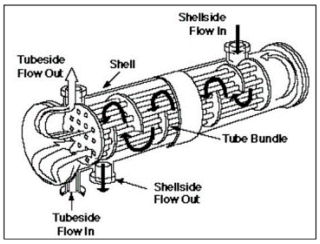
5) *Tube Sheet*



Gambar II.8 Tube Sheet

Berfungsi sebagai tempat untuk merangkai ujung-ujung tube sehingga menjadi satu yang disebut tube bundle. Tube sheet terbuat dari material dengan ketebalan dan jenis tertentu tergantung dari jenis fluida yang mengalir pada peralatan tersebut. Heat exchanger dengan tube lurus pada umumnya menggunakan dua buah tube sheet. Sedangkan pada tube tipe U menggunakan satu buah tube sheet yang berfungsi untuk menyatukan tubetube menjadi tube bundle dan sebagai pemisah antara tube side dengan shell. Tube sheet harus tahan korosi terhadap fluida.

6) *Tie Rods*



Gambar II.9 Tie Rods

Batangan besi yang dipasang sejajar dengan tube dan ditempatkan di bagian paling luar dari baffle yang berfungsi sebagai penyangga agar jarak antara baffle yang satu dengan lainnya tetap.

E. Perancangan Alat *Shell and Tube Heat Exchanger*

Perancangan heat exchanger tipe shell and tube memiliki beberapa alur perancangan yang perlu diperhitungkan, yaitu:

1. Diameter shell, shell berdiameter kecil membuat heat exchanger menjadi lebih ekonomis. Pressure drop dari diameter shell yang lebih kecil menjadi lebih besar. Penentuan diameter shell, flowrate cairan, kapasitas ruang yang tersedia, dan biaya harus dipertimbangkan.
2. Panjang tube, penukar panas biasanya lebih murah ketika memiliki diameter shell yang lebih kecil dan panjang tube lebih besar. Tujuan untuk membuat penukar panas selama mungkin. Banyak keterbatasan untuk ini, termasuk ruang yang tersedia di lokasi penempatan Heat Exchanger tersebut.
3. *Pitch* (jarak antar pusat tube), proses mendesain tube diharuskan merancang besarnya pitch tidak kurang dari 1,25 kali diameter luar tube.
4. *Baffle*, peningkatan efisiensi pertukaran panas biasanya pada shell and tube dipasang sekat (baffle). Ini bertujuan untuk membuat turbulensi aliran fluida dan menambah waktu tinggal, namun pemasangan sekat akan memperbesar pressure drop operasi dan menambah beban kerja pompa, sehingga laju alir fluida yang dipertukarkan panasnya harus dipertimbangkan.
5. Jumlah pass, peningkatan efisiensi pertukaran panas, jumlah pass yang digunakan dipertimbangkan berdasarkan mass flow fluida yang masuk. Besaran mass flow yang masuk ke dalam heat exchanger maka jumlah pass yang digunakan dapat diperbanyak. Namun pressure drop yang ditimbulkan karena jumlah pass yang besar menjadi lebih tinggi. Oleh karena itu, jumlah pass harus diatur agar pressure drop yang timbul tetap berada di bawah batas ketentuan dan efisiensi yang dihasilkan besar.
6. Diameter dalam *tube*, tube dengan diameter yang kecil memiliki biaya yang ekonomis. Pressure drop menjadi lebih besar dan lebih cepat kotor,

jadi untuk menentukan diameter tube, flowrate cairan, kapasitas ruang yang tersedia, biaya dan sifat kekotoran dari cairan harus dipertimbangkan

F. Metode Perhitungan *Heat Exchanger*

Dalam menganalisa performa dari suatu Heat Exchanger, maka parameter - parameter yang digunakan adalah:

1. *Duty* (Q)

   Duty merupakan besarnya energi atau panas yang ditransfer per waktu. *Duty* dapat dihitung baik pada fluida dingin atau fluida panas. Apabila duty pada saat operasional lebih kecil dibandingkan dengan duty pada kondisi desain, kemungkinan terjadi *heat losses*, fouling dalam tube, penurunan laju alir (fluida panas atau dingin), dan lain-lain. *Duty* dapat meningkat seiring bertambahnya kapasitas. Untuk menghitung unjuk kerja alat penukar panas, pada dasarnya menggunakan persamaan berikut:

$$Q = m \times Cp \times \Delta T$$

2. *Log Mean Temperature Difference* (LMTD)

$$LMTD = \frac{\Delta t_h - \Delta t_c}{In \frac{\Delta t_h}{\Delta t_c}}$$

   Keterangan:

   Δt_h = Beda temperatur fluida panas (°F)

   Δt_c = Beda temperatur fluida dingin (°F)

3. Perhitungan Luasan Aliran

   a. Pada *shell*

$$A_s = \frac{ID \times C" \times B}{144 \times Pt}$$

   b. Pada *tube*

$$A_t = \frac{Nt \times At"}{144 \times n}$$

   Keterangan:

   A = Luas (ft^2)

   ID = Inside diameter (ft)

   C” = Spesifik fluida dingin (Btu/lt°f)

B = Buffle spacing (in)

Nt = Nomor pada tube

at" = Eksternal surface tube (ft)

n = Nomor pada fase tube

4. Perhitungan Kecepatan Aliran Massa

   a. Pada *shell*

   $$Gs = \frac{W}{a_s}$$

   b. Pada *tube*

   $$Gt = \frac{W}{a_t}$$

   Keterangan:

   Gs = Kecepatan aliran massa pada shell (lb/hr ft^2)

   Gt = Kecepatan aliran massa pada tube (lb/hr ft^2)

   W = Aliran massa (lbm/jam)

   A = *Flow area* (ft^2)

5. Perhitungan Bilangan *Reynold*

   $$Re = \frac{ID.G}{\mu}$$

   Keterangan:

   ID = *Inside diameter* (ft)

   G = *Mass velocity* (lb/hr ft2)

   μ = Viskositas (ft/hr)

6. Perhitungan Bilangan Prandtl

   a. Pada *shell*

   $$Pr = \left(\frac{Cs.\mu s}{Ks}\right)^{1/3}$$

   b. Pada *tube*

   $$Pr = \left(\frac{Ct.\mu t}{Kt}\right)^{1/3}$$

   Keterangan:

   C = Kapasitas panas (Btu/lb)

μ = Viskositas (ft/hr)

K = Konduktivitas thermal (Btu/hr ft^2°F/ft)

Pr = Tekanan (psi)

7. Perhitungan Rasio Viskositas

   a. Rasio viskositas *shell*

$$\varphi s = \left(\frac{\mu s}{\mu sw}\right)^{0,14}$$

   b. Perhitungan viskositas tube

$$\varphi t = \left(\frac{\mu t}{\mu tw}\right)^{0,14}$$

Keterangan:

φ = viskositas

μst = viskositas (lb/ft hr)

μw = viskositas *tube well temperature*

8. Perhitungan Koefisien Perpindahan Panas

$$\frac{h}{\varphi} = JH.\frac{k}{D}.(Pr)^{1/3}$$

Keterangan:

h = koefisien perpindahan panas (Btu/hr ft^2°F)

φ = viskositas rasio

JH = faktor perpindahan panas proses

K = konduktivitas thermal (Btu/hr ft^2°F/ft)

D = diameter (ft)

Pr = tekanan (psi)

9. Perhitungan Koefisien Koreksi

$$hio = \varphi t.\frac{hi}{\varphi t}.\frac{IDt}{ODt}$$

Keterangan:

hio = koefisien perpindahan panas pada permukaan dan luar pipa (Btu/hr.ft^2°F)

10. Perhitungan Uc *(Clean Overall Coeficient)*

    Clean Overall Coeficient merupakan *coefficient* panas menyeluruh pada awal *Heat Exchanger* yang dipakai (masih bersih), biasanya ditentukan oleh besarnya tahanan konveksi ho dan hio, sedangkan tahanan konduksi diabaikan karena sangat kecil bila dibandingan dengan tahanan konveksi.

$$Uc = \frac{hi0 \times h0}{hi0 + h0}$$

11. Perhitungan Ud *(Design/ Dirty Overall Coeficient)*

    Design/Dirty Overall Coeficient merupakan koefisien perpindahan panas menyeluruh setelah terjadi pengotoran pada heat *exchanger*, besarnya Ud lebih kecil daripada Uc.

$$Ud = \frac{Q}{Nt \times a" \times L \times LMTD}$$

12. Perhitungan *Fouling Factor* (Rd)

    Rd atau *Fouling factor* merupakan *resistance* dan *heat exchanger* yang dimaksudkan untuk mereduksi korosifitas akibat dari interaksi antara fluida dengan dinding pipa heat exchanger, tetapi setelah digunakan beberapa lama Rd akan mengalami akumulasi *(deposited)*, hal ini tidak baik untuk heat exchanger karena Rd yang besar akan menghambat laju perpindahan panas antara hot fluid dan cold fluid. Jika fouling tidak dapat dicegah, dibutuhkan pembersihan secara periodik. Beberapa cara pembersihan yaitu secara kimia contohnya pembersihan endapan karbonat dan klorinasi.

$$Rd = \frac{Uc - Ud}{Uc - Ud}$$

    Bila Rd *(deposited)* > Rd *(allowed)* maka heat exchanger tersebut perlu dibersihkan. Rd yang diijinkan sebesar 0,001 hr.ft^{2}°F/Btu.

13. Perhitungan *Pressure Drop* (∆P)

    Penurunan tekanan di shell dan tube tidak boleh melebihi batas pressure drop yang diizinkan. Tekanan dalam *heat exchanger*, merupakan *Driving Force* bagi aliran fluida di shell maupun di tube, jika pressure drop lebih besar dari yang diizinkan maka akan menyebabkan laju alir massa inlet fluida di shell dan di tube jauh berbeda dengan laju alir massa outlet

tiap fluida. Hal ini akan menurunkan performance dari heat exchanger tersebut.

Pressure drop pada *shell* dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\Delta Ps = \frac{f\,.(Gs)^2.Ds.(N+1)}{5{,}22.10^{10}.D.Sg.\emptyset t}$$

Pressure drop pada *tube* dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\Delta Pt = \frac{f\,.(Gt)^2.Ds.(N+1)}{5{,}22.10^{10}.D.Sg.\emptyset t}$$

Keterangan:

f = *Fanning friction factor*

Gs = Laju aliran massa per satuan luas dalam shell

Gt = Laju aliran massa per satuan luas dalam tube

N = Jumlah pass/laluan tube

D = Diameter dalam tube

Sg = *Spesific gravity*

Menurut Kern pada tahun 1965, Dalam menganalisa performance shell dan tube heat exchanger diasumsikan bahwa:

1. Terdapat heating surface yang sama pada setiap pass
2. Overall Coefficient Heat Transfer (Uc) adalah konstan
3. Laju alir massa fluida di shell dan di tube adalah konstan
4. Specific Heat dari masing-masing fluida adalah konstan

II.2.2 Data dan Hasil Perhitungan *Heat Exchanger* E-2502

Tabel II.1 Spesifikasi Data Desain *Heat Exchanger* E-2502

		Tube	Shell Side
Keterangan	**Satuan**	**P_2O_5 Acid**	**Acidic Water**
		54 %	
Flowrate	(lb/ h)	59762838,96	50909085,04
Densitas	(kg/m^3)	1670	1
Viskositas	(lb/ft.h)	3,62865	1,69337
Konduktivitas	(BTU/h.ft.°F)	0,21504	0,36288
Heat Capacity	(BTU/lb.°F)	0,54	0,999
Suhu Masuk	(°F)	194	149
Suhu Keluar	(°F)	105,8	87,8
Number of Passes		5	1
Operating Pressure	(Kg/cm^2G)	2,3	2
Pressure Drop	(Kg/ cm^2G)	0,296	
Fouling Resistance	(h.m.°C/kkal)	0,003	0,0004
LMTD Corrected		32,11	

Tabel II.2 Data Desain *Baffle Heat Exchanger* E-2502

Bundle	**126**	Satuan		Satuan
OD tube	50,8	mm	2,00000108	in
ID shell	38,1	mm	1,50000081	in
Tube				
Length	6013	mm	236,7324113	in
Pitch	57,8	mm	2,27559178	in
Baffle				
Spacing	950	mm	37,401595	in
Cut	45	%		

Tabel II.3 Data Aktual *Heat Exchanger* E-2502 Tanggal 13 September

Tube P_2O_5 Acid			**Shell Acidic Water**		
T_{in} (°F)	T_{out} (°F)	Flowrate (lb/hr)	t_{in} (°F)	t_{out} (°F)	Flowrate (lb/hr)
230	176	25291,58428	176	141,8	48898,23

Tabel II.4 Data Aktual *Heat Exchanger* E-2502 Tanggal 14 September

Tube P_2O_5 Acid			**Shell Acidic Water**		
T_{in} (°F)	T_{out} (°F)	Flowrate (lb/hr)	t_{in} (°F)	t_{out} (°F)	Flowrate (lb/hr)
228,2	176	33326,5064	167	129,2	48898,23

Tabel II.5 Data Aktual *Heat Exchanger* E-2502 Tanggal 15 September

Tube P_2O_5 Acid			**Shell Acidic Water**		
T_{in} (°F)	T_{out} (°F)	Flowrate (lb/hr)	t_{in} (°F)	t_{out} (°F)	Flowrate (lb/hr)
226,4	176	30146,34139	167	131	48898,23

Tabel II.6 Data Aktual *Heat Exchanger* E-2502 Tanggal 16 September

Tube P_2O_5 Acid			**Shell Acidic Water**		
T_{in} (°F)	T_{out} (°F)	Flowrate (lb/hr)	t_{in} (°F)	t_{out} (°F)	Flowrate (lb/hr)
230	185	30319,95522	167	140	48898,23

Tabel II.7 Data Aktual *Heat Exchanger* E-2502 Tanggal 17 September

Tube P_2O_5 Acid			**Shell Acidic Water**		
T_{in} (°F)	T_{out} (°F)	Flowrate (lb/hr)	t_{in} (°F)	t_{out} (°F)	Flowrate (lb/hr)
230	194	34404,01377	176	154,4	48898,23

Tabel II.8 Data Aktual *Heat Exchanger* E-2502 Tanggal 18 September

Tube P_2O_5 Acid			**Shell Acidic Water**		
T_{in} (°F)	T_{out} (°F)	Flowrate (lb/hr)	t_{in} (°F)	t_{out} (°F)	Flowrate (lb/hr)
230	194	37009,13958	176	161,6	48898,23

Tabel II.9 Hasil Perhitungan Desain *Heat Exchanger* E-2502

Perhitungan	**Tube Side (P_2O_5 Acid)**	**Shell Side (Acidic Water)**
Duty (Btu/hr)	2846384494	3112520368
LMTD (°F)	70,0401	
Uc (Btu/hr.ft^2.°F)	879,7166	
Ud (Btu/hr.ft^2.°F)	972,4326	
Rd (hr.ft^2.°F/ Btu)	0,00010838	
Efisiensi (%)	91,4495	

Tabel II.10 Hasil Perhitungan Aktual *Heat Exchanger* E-2502 (13 September 2023)

Perhitungan	**Tube Side (P_2O_5 Acid)**	**Shell Side (Acidic Water)**
Duty (Btu/hr)	737502,5977	2110291,132
LMTD (°F)	34,7005	
Uc (Btu/hr.ft^2.°F)	458,8199	
Ud (Btu/hr.ft^2.°F)	16,3297	
Rd (hr.ft^2.°F/ Btu)	0,05905	
Efisiensi (%)	34,9479	

Tabel II.11 Hasil Perhitungan Aktual *Heat Exchanger* E-2502 (14 September 2023)

Perhitungan	**Tube Side (P_2O_5 Acid)**	**Shell Side (Acidic Water)**
Duty (Btu/hr)	1101374,384	2286148,727
LMTD (°F)	37,5329	
Uc (Btu/hr.ft^2.°F)	458,8199	
Ud (Btu/hr.ft^2.°F)	22,5463	
Rd (hr.ft^2.°F/ Btu)	0,04217	
Efisiensi (%)	48,1759	

Tabel II.12 Hasil Perhitungan Aktual *Heat Exchanger* E-2502 (15 September 2023)

Perhitungan	**Tube Side (P_2O_5 Acid)**	**Shell Side (Acidic Water)**
Duty (Btu/hr)	966974,0464	2198219,93
LMTD (°F)	36,5969	
Uc (Btu/hr.ft^2.°F)	458,8122	
Ud (Btu/hr.ft^2.°F)	20,3012	
Rd (hr.ft^2.°F/ Btu)	0,04707	
Efisiensi (%)	43,9889	

Tabel II.13 Hasil Perhitungan Aktual *Heat Exchanger* E-2502 (16 September 2023)

Perhitungan	**Tube Side (P_2O_5 Acid)**	**Shell Side (Acidic Water)**
Duty (Btu/hr)	1031484,876	2198219,93
LMTD (°F)	44,736	
Uc (Btu/hr.ft^2.°F)	459,823	
Ud (Btu/hr.ft^2.°F)	17,7156	

Rd (hr.ft^2.°F/ Btu)	0,05426
Efisiensi (%)	46,9236

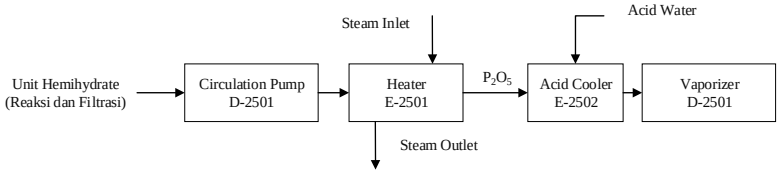
Tabel II.14 Hasil Perhitungan Aktual *Heat Exchanger* E-2502 (17 September 2023)

Perhitungan	**Tube Side (P_2O_5 Acid)**	**Shell Side (Acidic Water)**
Duty (Btu/hr)	1003221,041	1934433,538
LMTD (°F)	40,13700	
Uc (Btu/hr.ft^2.°F)	458,899	
Ud (Btu/hr.ft^2.°F)	19,2045	
Rd (hr.ft^2.°F/ Btu)	0,04989	
Efisiensi (%)	51,8612	

Tabel II.15 Hasil Perhitungan Aktual *Heat Exchanger* E-2502 (18 September 2023)

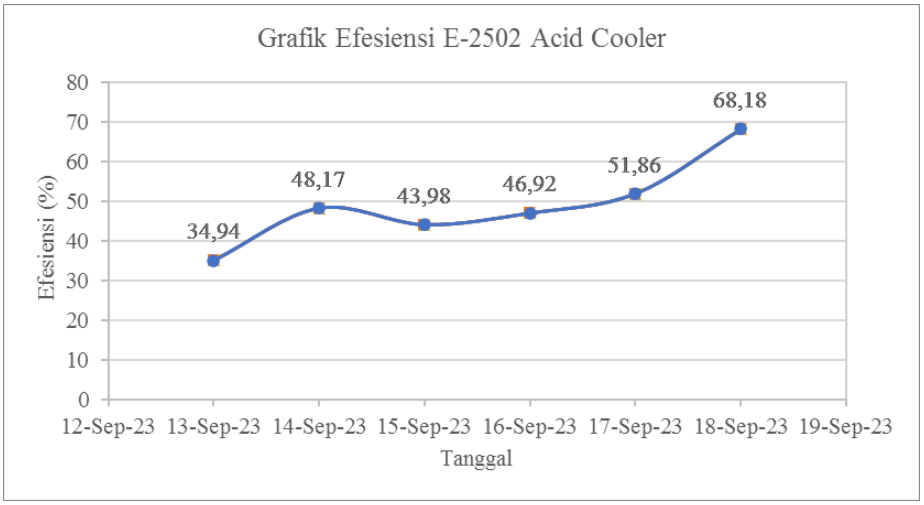
Perhitungan	**Tube Side (P_2O_5 Acid)**	**Shell Side (Acidic Water)**
Duty (Btu/hr)	1079186,51	1582718,349
LMTD (°F)	37,75277882	
Uc (Btu/hr.ft^2.°F)	458,82	
Ud (Btu/hr.ft^2.°F)	21,9634	
Rd (hr.ft^2.°F/ Btu)	0,04335	
Efisiensi (%)	68,1856	

II.2.3 Pembahasan *Heat Exchanger* E-2502



Gambar II.10 Blok Diagram Pada Alat *Heat Exchanger* E-2502

Heat Exchanger adalah suatu alat yang dimana terjadi aliran peroindahan panas di antara dua fluida atau lebih pada temperatur yang berbeda. Jenis E-2502 shell and tube terdiri dari sejumlah tube yang terpasang didalam shell yang berbentuk silindris. Terjadi dua fluida yang mengalir, dimana satu fluida mengalir di dalam tube, dan lainnya mengalir di luar tube (Sudrajat, 2017). E-2502 merupakan *Heat Exchenger* jenis *cooler* yang bertujuan untuk mendinginkan acid yang keluar dari Heat Exchenger E-2501 setelah dilakukan pemekatan asam fosfat menjadi 52%. Heat Exchenger jenis *cooler* ini bertipe shell and tube dengan mengalirkan air dingin pada bagian tubenya untuk mendinginkan produk. E-2502 dioperasikan dua unit yaitu E-2502 A dan E-2502 B dengan tujuan sama yaitu mendinginkan produk yang keluar setelah proses pemekatan. *Heat exchanger* yang digunakan bertipe shell and tube dengan air sebagai sumber pendingin. Berdasarkan data desain, dilakukan perhitungan panas yang diterima oleh P_2O_5 Acid sebesar 2846384494 BTU/hr, sedangkan pendingin yang masuk sebesar 3112520368 BTU/hr. Sehingga terjadi perpindahan panas yang terjadi dan mengalami kehilangan panas sebesar -266135874,5 BTU/hr. Efesiensi heat exchenger jenis cooler didapatkan dari perhitungan desain sebesar 91,44 % dengan *fouling factor* (Rd) sebesar 0,000108381 Btu/ hr.ft^2.°F. Koefisien perpindahan panas (Ud) sebesar 972,4326713 Btu/ hr.ft^2.°F. *Pressure Drop* pada Shell *(Acid Water)* sebesar 1,86 Psi dan *pressure drop* pada tube (P_2O_5 Acid) sebesar 4,21 Psi.



Gambar II.11 Grafik Efesiensi *Heat Exchanger* E-2502

Berdasarkan gambar II.11 grafik efesiensi *Heat Exchanger* jenis cooler diketahui efesiensi alat setiap harinya mengalami perubahan. Secara berturut – turut efesiensi dari E-2502 dari tanggal 13 September – 18 September 2023 sebesar 34,94 % ; 48,17 % ; 43,98 % ; 46,92 % ; 51,86 % ; 68,18 %, dengan nilai *fouling factor (Rd)* secara berturut – turut sebesar 0,059 Btu/ hr.ft^2.°F; 0,042 Btu/ hr.ft^2.°F; 0,047 Btu/ hr.ft^2.°F; 0,0542 Btu/ hr.ft^2.°F ; 0,049 Btu/ hr.ft^2.°F ; 0,043 Btu/ hr.ft^2.°F. Data yang didapatkan tersebut merupakan data aktual dari kondisi yang diterima alat di lapangan, dari data selama 6 hari tersebut diperoleh rata – rata efesiensi sebesar 49,01 % dengan *fouling factor (Rd)* sebesar 0,04930 Btu/ hr.ft^2.°F.

Pembahasan performa *heat exchenger* jenis cooler ini akan dibanding antara data desain dengan data aktual sebagai bahan pertimbangan efesiensi dari kinerja. Maka didapatkan dari perhitungan data aktual, bahwa terdapat penurunan efesiensi dari perhitungan desain dengan aktual, dimana efesiensi aktual dibawah 50 % dengan menggunakan efesiensi rata – rata selama 6 hari. Perbedaan efesiensi perharinya karena setiap masing – masing hari memiliki *flowrate* yang berbeda, sehingga hal tersebut mempengaruhi efesiensi dari cooler, dimana semakin tinggi *flowrate* maka nilai efesiensi dari cooler akan semakian tinggi pula(Zain, 2020). Perbandingan nilai efisiensi *heat exchanger* jenis cooler E-2502 dari data desain dan aktual terlihat mengalami penurunan. Hal ini dapat disebabkan karena semakin meningkatnya nilai *fouling factor (Rd)* dari 0,000108381 Btu/ hr.ft^2.°F menjadi berkisar 0,04930 Btu/ hr.ft^2.°F, sedangkan Rd yang diizinkan yaitu sebesar 0,001 Btu/ hr.ft^2.°F/Btu. Hal ini sangat berpengaruh karena dapat dilihat *fouling factor (Rd)* dari perhitungan aktual di atas 0,001 Btu/ hr.ft^2.°F/Btu.

Fouling Factor (Rd) menunjukkan besarnya faktor pengotor, dikarenakan adanya endapan sehingga memberikan tahanan tambahan terhadap aliran panas (Junhong, 2021). Semakin lama heat exchanger digunakan akan menyebabkan pengotoran *(fouling)* pada bagian dalam *heat exchanger* tersebut. Lapisan pengotoran ini menyebabkan penambahan tahanan termal dan menyebabkan laju perpindahan panas pada *heat exchanger* berkurang. Hal tersebut menunjukkan bahwa semakin rendah *Fouling Factor (Rd)*, maka efesiensi dari heat exchanger jenis cooler akan tinggi, karena tidak terdapat *scaling* atau

kerak pengotor yang disebabkan karena pengendapan. panas tidak maksimal. Pengendapan di dalam heat exchanger dapat terjadi karena fluida yang mengalir masih membawa padatan. Selain itu, fouling factorjuga dipengaruhi oleh proses kimia yang bersifat korosif (Amrullah, 2022).

Maka dari itu *Heat Exchanger* E-2502 memiliki *scaling* yang banyak berasal dari larutan P_2O_5 Acid yang didinginkan sehingga terjadi pengendapan didalam alat pendingin ketika proses perpindahan panas terjadi, hal tersebut dapat mempengaruhi meningkatnya *fouling factor* pada alat *heat exchenger* jenis cooler. Oleh karena itu, perlu dilakukan pembersihan *(cleaning)* pada alat *heat exchenger* jenis cooler ini agar proses perpindahan panas dapat berjalan dengan baik. Pembersihan yang dilakukan dapat menggunakan metode *mechanical cleaning* yaitu proses *hydro jetting*, di mana *heat exchanger* diinjeksikan dengan air bertekanan tinggi, sehingga endapanendapan yang menempel pada shell maupun tube akan ikut mengalir dengan air. Pembersihan tersebut bisa dilakukan satu kali dalam seminggu.