



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Uraian Proses

II.1.1 Proses pembuatan asam fosfat

Proses pembuatan asam fosfat secara umum dikelompokkan menjadi 2 golongan yaitu pembuatan asam fosfat dengan proses basah (wet process) dan pembuatan dengan tungku listrik.

1. Pembuatan asam fosfat dengan proses basah



Pembuatan asam fosfat dengan proses basah menggunakan bahan baku batuan fosfat yang telah dihaluskan, kemudian direaksikan dengan asam sulfat. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:



Batuan fosfat dihancurkan dahulu dengan ball mill, lalu batuan fosfat diumpungkan ke dalam digester bersamaan dengan pengumpanan asam sulfat. Di dalam digester terjadi pengadukan dan pencampuran pada bahan tersebut. Dilakukan pendinginan dengan vacuum cooler sehingga produk asam fosfat yang telah didinginkan tersebut dapat dilakukan filtrasi. Pada filter 1 akan didapat asam fosfat murni dan pengotor-pengotor lain akan lolos terfiltrasi ke tahap berikutnya. Tahap berikutnya dilakukan penambahan Silica slurry. Silica merupakan bahan baku yang penting sekaligus bertindak sebagai asam dan fluks (zat dalam sebuah reaksi yang berfungsi untuk menyerap zat pengotor dalam reaksi). Dari fluor yang terdapat di dalam batuan fosfat, kira-kira 20% terkonversi menjadi SiF_4 dan menguap. Reaksi berlangsung cepat, ketika penambahan Silica Slurry yang berasal



dari AIF Plant dilakukan filtrasi kembali pada Filter II sehingga didapatkan produk samping yaitu Gypsum Dihydrate

Beberapa proses yang dikembangkan berdasarkan proses basah ini antara lain:

- a. Proses Prayon Dihydrate
- b. Proses Jacob Dorr Dihydrate
- c. Proses Central Prayon Dihydrate
- d. Proses Nissan

Deskripsi untuk masing-masing proses yakni:

- a. Proses Prayon Dihydrate

Proses ini dikembangkan oleh Prayon dari Belgia. Perkembangan teknologi proses selanjutnya diutamakan pada agitasi dan pola aliran slurry yang saat ini digunakan filter vacum tilting pan. Filtrasi yang baik dicapai melalui semakin banyaknya kristal yang hilang

- b. Proses Jacob Dorr Dihydrate

Proses ini digunakan di Amerika Serikat dengan produksi asam fosfat lebih dari 3 juta ton per tahun. Proses ini menggunakan reaktor yang terdiri dari dua buah reaktor yang berbentuk silinder dengan pendingin vacum. Proses ini menggunakan berbagai macam filter.

- c. Proses Central Prayon Dihydrate

Proses central-prayon merupakan gabungan antara proses prayon dengan central glass, biasanya berkapasitas 750.000 ton per tahun. Proses pemanasan dipenuhi dengan adanya steam dan juga panas reaksi dengan asam sulfat berkadar 10-15%.

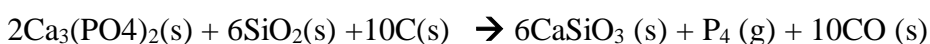
- d. Proses Nissan

Proses reaksi dijaga pada suhu 85-105 °C terjadi pembentukan silika setelah mendapat tambahan flouride dan komponen lainnya. Biasanya berkapasitas sedang, dan juga merupakan proses yang paling banyak digunakan.



B. Pembuatan asam fosfat dengan tungku listrik

Pembuatan asam fosfat dengan tungku listrik dilakukan dengan memasukkan batuan fosfat ke dalam tungku pembakar listrik dimana terjadi reaksi sebagai berikut:



proses bahwa batuan fosfat dari gudang dihaluskan di dalam ball mill sebelum direaksikan dengan larutan asam sulfat. Reaksi ini dijalankan di dalam reaktor alir tangki berpengaduk. Hasil reaksi yang berupa larutan asam fosfat dan padatan gipsum dipisahkan di filter. Gypsum sebagai hasil samping disimpan di gudang, filtrat yang mengandung asam sulfat dipisahkan di evaporator sampai konsentrasi asam fosfat menjadi 75 %, dan cairan hasil pencucian cake di recycle ke reaktor. Reaksi antara batuan fosfat (fluorapatite) dengan asam sulfat sebagai berikut Gas P₄ dibakar dengan udara dan oksida yang dihasilkan selanjutnya direaksikan dengan air untuk mendapatkan H₃PO₄, dengan metode tungku listrik dapat dihasilkan asam fosfat dengan kadar kemurnian kurang lebih 85%, dimana kandungan P₂O₅ sebanyak 75% (Austin, 2007)



II.2 Uraian Tugas Khusus

Judul Tugas: Analisa Kinerja Heat Exchanger Pada Unit Konsentrasi
Produksi Asam Fosfat

II.2.1 Latar Belakang

Proses produksi asam fosfat terbagi dalam 5 unit yaitu unit grinding untuk memperkecil ukuran dengan bahan baku phosphate rock, unit reaksi dan filtrasi hemihidrat untuk mereaksikan phosphate rock dan asam sulfat membentuk larutan asam fosfat, gypsum hemihidrat dan gas HF, unit konversi dan filtrasi dihidrat untuk mengubah kristal hemihidrat menjadi dihidrat dan mereaksikan sisa P_2O_5 dengan H_2SO_4 , unit fluorine recovery untuk menyerap gas HF membentuk H_2SiF_6 guna pencegahan polusi lingkungan, dan tahap terakhir yang menentukan produk asam fosfat yaitu unit konsentrasi untuk memekatkan produk asam fosfat dari 45% menjadi 54%

Dalam Plant Produksi Asam fosfat terdapat heater pada unit konsentrasi untuk memanaskan larutan encer asam fosfat hingga $90-95^{\circ}C$ dengan media pemanas berupa steam $128-130^{\circ}C$, sehingga terjadi pemekatan larutan dengan teruapnya molekul air pada bejana vakum evaporator dari larutan P_2O_5 45% menjadi 54%. Molekul air yang menguap menjadi gas dalam evaporator akan dihisap oleh mist separator yang selanjutnya akan diproses pada unit fluorine recovery untuk menangkap kemungkinan gas HF yang lolos. Sehingga pada proses heater memakai Heat Exchanger sangatlah penting karena Pemanfaatan dan pengoperasian heat exchanger secara optimum akan meningkatkan efisiensi energi pada suatu unit proses yang pada akhirnya berpengaruh terhadap operating cost tersebut. Maka dari itu perlu dilakukannya pengecekan terhadap alat heat exchanger apakah alat tersebut bekerja optimal atau perlu dilakukannya maintenance

maka dari itu disusunlah tugas khusus ini yang akan menjelaskan mengenai teori serta perhitungan yang terkait dengan peforma kerja alat heat exchanger serta tanda – tanda alat heat exchanger perlu dilakukan maintenance.



II.2.2 Tujuan

Adapun tujuan dari tugas khusus ini adalah sebagai berikut :

1. Menganalisa kinerja dari alat Heat Exchanger E-2501 di unit produksi asam fosfat Departemen Produksi III A.
2. Mengetahui besarnya nilai Design Overall Koefisien perpindahan panas (Ud), fouling factor (Rd) dan pressure drop (ΔP) pada Heat Exchanger E-2501.

II.2.3 Manfaat

Dari analisis kuantitatif terhadap heat exchanger E-2501 pada pabrik Asam Fosfat, diharapkan dapat diketahui performa dari heat exchanger tersebut dan dapat dijadikan referensi untuk mengoptimalkan operasi pada heat exchanger.

II.2.4 Tinjauan Pustaka

A. Heat Exchanger

Alat penukar panas atau heat exchanger (HE) adalah alat yang digunakan untuk memindahkan panas dari sistem ke sistem lain tanpa perpindahan massa dan bisa berfungsi sebagai pemanas maupun sebagai pendingin. Biasanya, medium pemanas yang dipakai adalah air yang dipanaskan sebagai fluida panas dan air biasa sebagai pendingin (cooling water). Penukar panas dirancang sebisa mungkin agar perpindahan panas antar fluida dapat berlangsung secara efisien.

Proses perpindahan panas tersebut dapat terjadi secara langsung maupun tidak langsung. Maksudnya adalah, pada alat penukar kalor yang langsung, fluida yang panas akan bercampur secara langsung dengan fluida dingin (tanpa adanya pemisah) dalam suatu bejana atau ruangan tertentu. Contohnya adalah cooling tower untuk mendinginkan air pendingin kondenser pada instalasi mesin pendingin kondenser pada instalasi mesin pendingin sentral atau PLTU, dimana antara air hangat yang didinginkan oleh udara sekitar saling berkontak seperti layaknya air mancur. Pada alat penukar kalor yang tidak langsung, fluida panas tidak berhubungan langsung dengan fluida dingin. Jadi proses perpindahan panas itu mempunyai media perantara, seperti pipa, pelat atau peralatan jenis lainnya. (Dzulqornain, 2015)



B. 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.

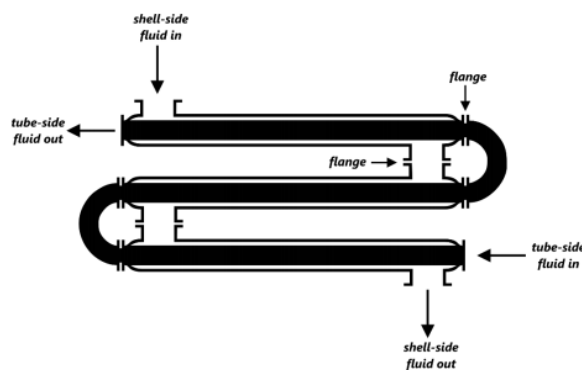
C. Tipe Heat Exchanger

Heat Exchanger memiliki beberapa tipe sesuai dengan kebutuhan proses yang ada. Ada enam tipe heat exchanger yang umum digunakan, yaitu :

1. Double Pipe Heat Exchanger



Heat Exchanger ini adalah tipe yang paling sederhana, terdiri dari dua buah pipa dengan ukuran diameter yang berbeda, pipa dengan diameter lebih kecil diletakkan didalam pipa dengan diameter lebih besar dan kedua pipa disusun secara konsentris (satu sumbu). Heat Exchanger jenis ini hanya dapat digunakan untuk kapasitas yang kecil, biasanya dibuat dalam bentuk pipa U (sering disebut hairpin). Heat Exchanger jenis ini dapat digunakan untuk gas liquid atau gas-gas. Kelemahan Heat Exchanger jenis Double Pipe ini adalah terbatasnya jumlah panas yang dapat ditransfer, namun karena kemudahan dalam pembersihan dan konstruksinya maka penggunaannya menjadi lebih umum. Dengan keterbatasannya untuk kapasitas yang kecil, jika diperlukan luas perpindahan panas yang besar, maka dapat dipakai beberapa pipa U yang dihubungkan secara seri atau paralel. Namun cara tersebut kurang efektif karena jumlah hairpin yang besar sehingga akan membutuhkan tempat yang luas dan jika terjadi kebocoran akan sulit dikendalikan.



Gambar 2.1 Double Pipe Heat Exchanger

2. Shell and Tube Heat Exchanger

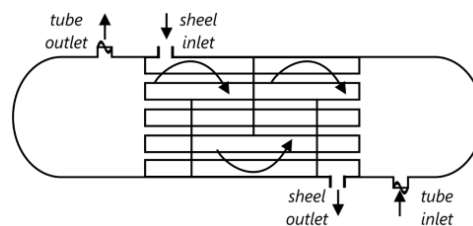
Merupakan jenis umum dari penukar panas, biasanya digunakan dalam kondisi tekanan relatif tinggi, yang terdiri dari sebuah shell yang di dalamnya disusun tube dengan rangkaian tertentu (untuk mendapatkan luas permukaan yang optimal). Fluida mengalir di shell maupun di tube sehingga terjadi perpindahan panas antara fluida dengan dinding tube sebagai perantara.

Keuntungan dari Shell and Tube Heat Exchanger adalah sebagai berikut :

- a. Dapat digunakan secara luas di berbagai industri karena dapat digunakan untuk kapasitas yang lebih besar.



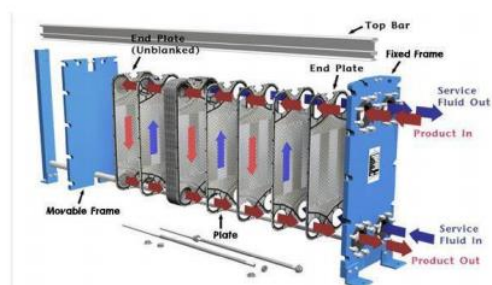
- b. Mempunyai susunan mekanik yang baik dengan bentuk yang cukup baik untuk operasi bertekanan.
- c. Tersedia dalam berbagai bahan konstruksi, dimana dapat dipilih jenis material yang dipergunakan sesuai dengan temperatur dan tekanan operasi.
- d. Dapat digunakan dalam rentang kondisi operasi yang melebar.
- e. Prosedur pengoperasian lebih mudah.
- f. Metode perancangan yang lebih baik telah tersedia.
- g. Pembersihan dapat dilakukan dengan lebih mudah.



Gambar 2.2 Shell and Tube Heat Exchanger

3. Plate and Frame Heat Exchanger

Plate and frame heat exchanger merupakan sejenis penukar panas untuk fluida yang di dalamnya tersusun banyak sekat-sekat yang berfungsi sebagai pemisah (pembatas) antara fluida panas dan fluida dingin. Sekat-sekat tersebut juga berfungsi sebagai pengarah aliran. Perpindahan panas yang terjadi di dalam plate and frame heat exchanger adalah secara konveksi, konduksi, dan sedikit radiasi. Perpindahan panas konveksi terjadi antara plat dengan fluida, perpindahan panas konduksi terjadi pada plat (dinding pemisah fluida) dan perpindahan panas secara radiasi terjadi dari heat exchanger ke lingkungan sekitar (surrounding). Bentuk dan aliran dari plate and frame heat exchanger dapat dilihat pada gambar berikut (Mc Cabe, 2005).



Gambar 2.3 Plate and frame heat exchanger



II.2.5 Perhitungan

1. 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)

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

cp = 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)

2. Log Mean Temperature Difference (LMTD)

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{\Delta t_2 - \Delta t_1}{\ln \frac{\Delta t_2}{\Delta t_1}} \dots \dots \dots (2)$$

3. Flow Area

a. 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)

b. 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

4. Kecepatan Massa

a. Shell side



$$Gs = W / as.....(5)$$

Dimana :

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

b. Tube side

$$Gt = w / at.....(6)$$

Dimana :

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

5. Reynold Number

a. Shell side

$$Res = De \times Gs / \mu.....(7)$$

Dimana:

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

Gs = Kecepatan massa (lb/hr.ft²)

μ = Viskositas fluida pada suhu tc

b. Tube side Ret = D x Gt / μ (8)

Dimana:

D = Inside diameter (ft) Tabel 10 Kern)

Gt = Kecepatan massa (lb/hr.ft²)

μ = Viskositas fluida pada suhu tc

6. Heat Transfer Factor

a. Shell side

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

b. Tube side

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

7. Thermal Function Pada tiap suhu

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

8. Outside film Coefficient (ho) dan Inside film coefficient (hi)

a. Shell side

$$ho = jH \frac{k}{De} \times \left(\frac{c\mu}{k}\right)^{1/3} \Phi_s(10)$$



b. Tube side

$$hio = jH \frac{k}{De} x \left(\frac{c\mu}{k}\right)^{1/3} \Phi t \dots\dots\dots(11)$$

$$\frac{hio}{\Phi t} = \frac{hi}{\Phi t} x \frac{ID}{OD} \dots\dots\dots(12)$$

Dimana :

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

hio = Inside film coefficient (Btu/hr.ft °F)

9. Tube Wall Temperature, tw

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.

$$tw = tc + \frac{ho/\Phi s}{\frac{hio}{\Phi t} + \frac{ho}{\Phi s}} \dots\dots\dots(13)$$

Dimana :

tw = temperature dinding tube (°F)

10. Clean Overall Coefficient, Uc

$$Uc = hio x ho / (hio + ho) \dots\dots\dots(14)$$

Dimana :

Uc = Overall heat transfer coefficient (Btu/hr.ft² °F)

11. Dirty Overall Coefficient, UD

$$A = NT x a'' x L$$

$$\dots\dots\dots(15)$$

Dimana :

A = Heat Transfer surface (ft²)

NT = Jumlah tube

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

L = Panjang tube

$$UD = \frac{Q}{A x \Delta t} \dots\dots\dots(16)$$

Dimana :

UD = Overall heat transfer coefficient (Btu/hr.ft² °F)

12. Dirt Factor, Rd



$$Rd = \frac{UC-UD}{UC \times UD} \dots\dots\dots(17)$$

Dimana :

Rd = Fouling Factor (hr.ft² . °F/Btu)

13. Pressure Drop

a. 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 :

ΔPs = Total Pressure Drop pada shell (psi)

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

Gs = Kecepatan massa (lb/hr.ft²)

s = Spec. gravity

N+1 = jumlah lintasan aliran melalui baffle

b. Tube side

$$\Delta P_t = \frac{f \times G_t^2 \times L \times n}{5,22 \times 10^{10} \times D \times s \times \Phi_t} \dots\dots\dots(19)$$

Dimana :

ΔPt = Total Pressure Drop pada tube (psi)

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

Gs = 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 :

ΔPr = Return Pressure Drop pada tube (psi)

$\frac{V^2}{2g}$ = Velocity head (psi)

s = Spec. gravity

Maka :

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

(Kern, 1983)



II.2.6 Pembahasan

Tabel 2.1 Hasil Perhitungan Heat Exchanger dengan Data Desain

| Shell | Kesimpulan | Tube |
|----------------------|---|----------------------------|
| 1500 | h outside BTU/(h-ft²-F) | 382,8036 |
| 1,4500 | Pressure drop Allowable (psi) | 7,2500 |
| 0,7937 | Pressure drop calculated (psi) | 3,9072 |
| U_c | 304,9736 | Btu / hr ft ² F |
| U_D | 92,1832 | Btu / hr ft ² F |
| R_d | 0,00757 | hr ft ² F / Btu |

Pada perhitungan data design didapat besarnya koefisien perpindahan panas bagian shell (h_o) sebesar 1500 Btu/(hr.ft².°F) dan pada bagian shell (h_{io}) sebesar 382,8036 Btu/(hr.ft².°F). Didapat nilai pressure drop pada shell heat exchanger sebesar 0,7937 psi. Pressure drop pada sheel yang didapat tidak melebihi dari pressure drop yang diizinkan yaitu 1,45 psi. Pressure drop yang diperoleh dari tube heat exchanger sebesar 3,9072 psi. Nilai pressure drop tube heat exchanger tidak melebihi dari pressure drop yang diizinkan yaitu 7,25 psi. Pada hasil perhitungan juga diperoleh nilai koefisien perpindahan panas bersih (U_c) sebesar 304,9736 Btu/(hr.ft².°F). Dan besarnya koefisien overall perpindahan panas design (U_D) sebesar 92,1832 Btu/(hr.ft².°F). Besarnya nilai fouling factor (R_d) didapat 0,00757 (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 HE ketika pemanasan berlangsung. Fouling terjadi ketika fluida berinteraksi dengan material penyusun heat exchanger, sehingga beberapa partikel dari fluida akan mengendap pada permukaan heat exchanger. 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 (Winasis, 2017).



Faktor yang mempengaruhi besarnya nilai fouling antara lain suhu permukaan, kecepatan aliran fluida, dan jenis minyak fluida. Efisiensi heat exchanger semakin menurun dan biaya yang dibutuhkan semakin besar karena perlu dilakukan pembersihan fouling (Lebo, 2015). Dalam perhitungan didapat Rd design dan Rd actual akan mengalami perbedaan nilai. Menurut Sebayang (2016), 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 Heat Exchanger. Nilai pressure drop allowable menunjukkan penurunan tekanan maksimal yang diperbolehkan dalam Heat Exchanger apabila suatu fluida melaluinya. Pressure drop yang diizinkan pada tube sebesar 1,45 psi dan pada sheel sebesar 7,25 psi. Dari hasil perhitungan nilai pressure drop pada data design ΔP_s 0,7937 psi, ΔP_t 3,9072 psi. Terhitung pada pressure drop shell maupun tube masih memenuhi standart karena nilainya masih dibawah dari nilai pressure drop yang diizinkan.