

# ANALISA PERENCANAAN DESALINATION PLANT 4167 TON/JAM

Naryono, Ery Diniardi, Suharyono

Jurusan Mesin, Universitas Muhammadiyah Jakarta

**Abstrak.** Analisa perencanaan desalination plant dengan kapasitas 41,67 ton/jam merupakan suatu perencanaan yang membahas tentang perencanaan dari alat – alat heat exchanger desalination plant, yaitu evaporator, brine heater, ejector condensor, drain cooler. Perencanaan yang dimaksud yaitu menghitung perpindahan panas dari masing – masing alat – alat heat exchanger desalination plant, perhitungan perpindahan panas nya yaitu menghitung heat balance, menghitung luas permukaan perpindahan panas, menghitung pressure drop dan menghitung kekuatan pipa dari alat – alat heat exchanger desalination plant.

Pada perencanaan ini menggunakan titanium sebagai bahan pipa, karena titanium dapat dipakai pada temperatur tinggi, sehingga tidak mudah pecah jika dilalui fluida dengan temperatur tinggi. Pada analisa perhitungan terdapat perbedaan antara hasil perhitungan dengan spesifikasi data dari alat – alat heat exchanger . walaupun terjadi perbedaan tetapi perbedaan tersebut < 5 %.

Dengan perbedan yang tidak terlalu signifikan antara hasil perhitungan dengan spesifikasi data, maka peencanaan desalination dengan kapasitas 41,67 ton / jam ini dapat digunakan.

*Kata kunci:* desalination plant, heat exchanger

## PENDAHULUAN

### LATAR BELAKANG

Pada Pembangkit Listrik Tenaga Gas Uap (PLTGU), air merupakan media yang sangat diperlukan sekali pada pembangkit tersebut, dimana air tersebut terlebih dahulu dirubah menjadi uap, setelah menjadi uap maka akan dapat menggerakkan turbin uap. Jadi air sangat penting sekali peranannya dalam suatu pembangkit listrik yang menggunakan turbin uap sebagai penggerak mulanya. Dan air yang digunakan pada pembangkit tersebut disebut sebagai air unit. Pembangkit Listrik Tenaga Gas Uap (PLTGU) mempunyai beberapa plant yang berfungsi untuk menghasilkan air unit diantaranya Desalination plant. Desalination plant merupakan suatu peralatan yang berfungsi mengolah air laut yang mempunyai conductivity diatas 50.000  $\mu\text{mhos/cm}$  menjadi air Distillate yang mempunyai conductivity sekitar 10  $\mu\text{mhos/cm}$ .

Pada proses desalination plant, salah satu yang harus diperhatikan ialah performance dari alat – alat heat exchanger desalination plant yaitu Evaporator, Brine heater, ejector condenser, drain cooler terhadap fluida yang mengalir melalui alat – alat tersebut. Untuk menghasilkan kualitas air yang diinginkan pada proses desalination plant, maka diperlukan alat – alat heat exchanger desalination plant yang dapat bekerja secara optimal. Untuk itu, dibutuhkan perencanaan desalination plant yang sesuai dengan kebutuhan. Sehingga dengan perencanaan desalination plant yang sesuai dengan kebutuhan , maka akan dihasilkan kerja yang optimal. Dan diharapkan dapat dihasilkan produk desalination plant (distllate) sesuai dengan komposisi yang diijinkan.

## LANDASAN TEORI

### Penjelasan Desalanation Plant

Desalination plant adalah suatu peralatan yang berfungsi mengolah air laut yang mempunyai conductivity diatas 50.000  $\mu\text{mhos/cm}$  menjadi air tawar (fresh water) yang mempunyai conductivity sekitar 10  $\mu\text{mhos/cm}$ .

Berdasarkan prinsip kerja desalination plant, maka desalination plant dibagi tiga metode proses pengolahan air yaitu sebagai berikut :

1. Proses Freezing (Pembekuan)

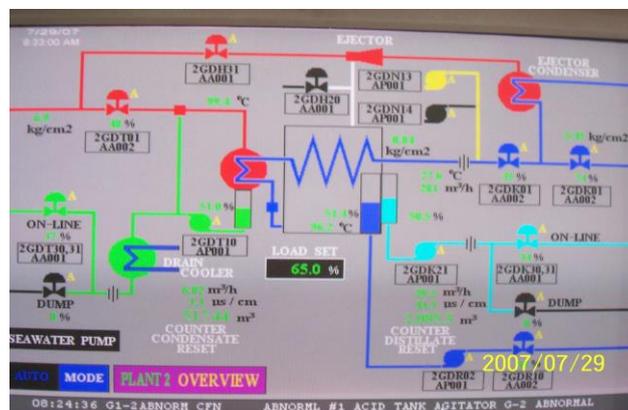
- Proses pengolahan air laut dengan cara mendinginkan air laut sampai temperatur tertentu, sehingga airnya akan membeku membentuk es, sedangkan garam-garamnya belum membeku karena titik bekunya lebih rendah.
2. Proses Filtrasi (Reverse Osmose)  
Proses pengolahan air laut dengan cara melewati air laut ke saringan. Saringan berupa selaput permiabel, dimana air bisa lolos melewati selaput Permiabel sedangkan garam-garam tidak bisa lolos disebabkan karena garam-garam mempunyai ukuran partikel-partikel yang lebih besar.
  3. Proses Vaporizing (Penguapan)  
Proses pengolahan air laut dengan cara memanaskan air laut sampai temperatur tertentu, sehingga sebagian air laut akan menguap. Uap air yang terbentuk kemudian didinginkan sehingga mengembun menjadi distilat yang mempunyai conductivity yang rendah ( $\pm 10 \mu\text{mhos/cm}$ ). Sedangkan air laut yang tidak menguap dan banyak mengandung garam-garam dibuang dengan pompa blowdown. Proses vaporizing paling banyak digunakan karena paling ekonomis.

### Proses Kerja Desalination Plant

Pada proses desalination plant, penulis akan menjelaskan tentang proses yang ada di desalination plant. Proses desalination plant adalah sebagai berikut :

Air menguap ketika dipanaskan sampai titik didihnya, 100 oC pada tekanan 1 atm. Air juga bisa menguap pada tekanan lebih atau kurang dari 1 atm pada saat titik didihnya tercapai. Ketika air dengan temperature tertentu mengalir ke sebuah ruangan dimana tekanan ruang tersebut dijaga sampai titik respon menguapnya air, air tersebut langsung menguap. Penguapan instan ini dikenal dengan nama "penguapan cepat". Dan jika ruangan tersebut dihubungkan dengan ruangan yang lain dimana tekanannya dibuat semakin rendah serta penghubung antar ruang dibuat semakin rapat sehingga tekanan ruangan-ruangan tersebut terjaga vacuum maka air tersebut akan menguap lagi diruangan kedua, ketiga dan selanjutnya.

Uap dari air yang dihasilkan dari proses penguapan diatas secara teori tidak mengandung zat kimia lain kemudian menjadi air tawar ketika di kondensasikan. Desalination tipe multi stage flash menggunakan prinsip ini untuk merubah air laut menjadi air tawar.



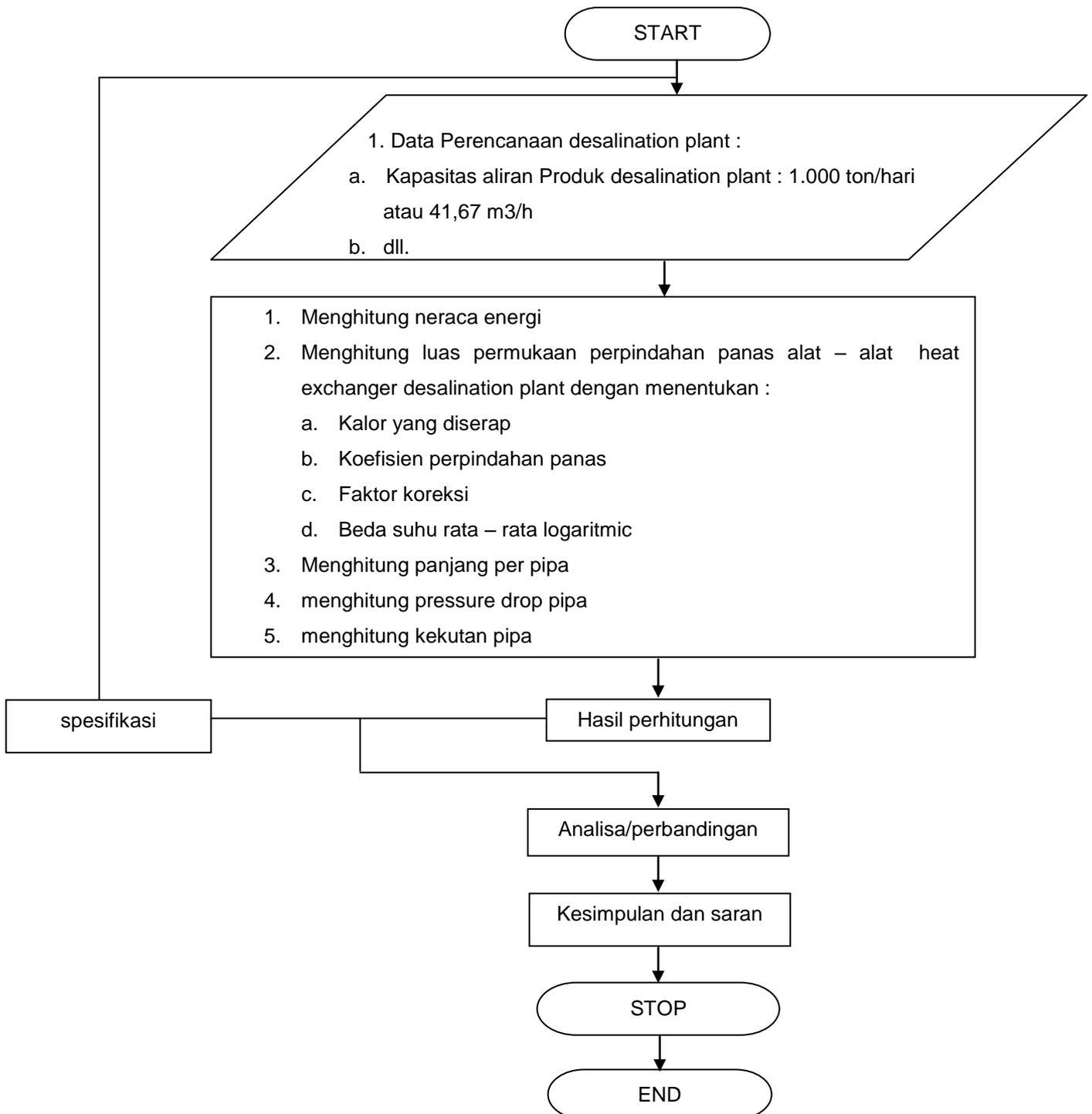
**Gambar 1. Proses desalination.**

Gambar diatas adalah gambaran proses desalination secara sederhana. Line yang berwarna merah adalah aliran uap. Uap tersebut disuplai dari uap hasil produksi unit pembangkit atau dari auxiliary boiler. Line yang berwarna biru tua adalah aliran air laut. Line yang berwarna hijau adalah aliran air hasil kondensasi uap atau air condensate. Line yang berwarna biru muda adalah aliran air hasil produksi desalination plant atau air distillate. Line yang berwarna kuning adalah aliran bahan kimia. Aliran yang berwarna putih adalah aliran gas-gas yang tidak terkondensasi yang berasal dari evaporator agar tekanan vacuum didalam evaporator dapat terjaga.

Air laut mengalir melalui evaporator menuju brine heater. Di brine heater, air laut dipanaskan oleh uap. Setelah itu air laut tadi masuk kedalam evaporator dimana tekanan didalam evaporator dibuat dibawah 1 atm. Karena itu air laut tersebut langsung mengalami penguapan. Uap itu akan dikondensasikan menjadi butiran-butiran air oleh air laut yang melewati evaporator. Butiran-butiran air tersebut adalah hasil produksi desalination plant

yang selanjutnya disimpan ke service water tank. Tidak semua air laut yang masuk kedalam evaporator menjadi uap, banyak juga yang tidak mengalami proses penguapan. Air laut yang tidak mengalami penguapan dipompakan kembali ke laut. Uap yang berasal dari unit pembangkit atau dari auxiliary boiler mempunyai fungsi memanaskan air laut pada brine heater. Selain itu, uap tersebut juga berfungsi untuk menghasilkan dan mempertahankan tekanan evaporator dibawah 1 atm dengan menggunakan sistem orifice (ejector). Uap yang memanaskan air laut di brine heater mengalami kondensasi menjadi air.

## METODOLOGI PENELITIAN



## ANALISA DAN PEMBAHASAN

### Menghitung Keseimbangan Energi Evaporator

#### Fluida panas (air laut)

Untuk mengetahui density, specific heat, konduktivitas, dan viscositas dari fluida panas, terlebih dahulu menghitung temperatur rata-rata dari fluida panas. Temperatur rata-rata fluida panas (air laut) dapat ditentukan dengan cara merata-ratakan antara temperatur air laut inlet flash chamber evaporator (th1) dengan temperatur air laut outlet flash chamber evaporator (th2). Dan besarnya (th1) dan (th2) dapat dilihat pada gambar 4.1, maka temperatur rata-rata fluida panas adalah sebagai berikut:

$$\text{Temperatur rata-rata fluida panas (tr1)} = \frac{t_{h1} + t_{h2}}{2} = \frac{113^{\circ}C + 40,7^{\circ}C}{2} = 76,85^{\circ}C$$

Tabel 4.1. Sifat – sifat zat cair jenuh

Temperatur		Specific heat	Density	Viskositas	konduktivitas
		Cp	$\rho$	$\mu$	k
OF	OC	kJ/kg. OC	kg/m <sup>3</sup>	kg/m.s	W/m. OC
100	37,78	4,174	993	6,82.10 <sup>-4</sup>	0,630
110	43,33	4,174	990,6	6,16. 10 <sup>-4</sup>	0,637
150	65,55	4,183	980,3	4,3.10 <sup>-4</sup>	0,659
160	71,11	4,86	977,3	4,01.10 <sup>-4</sup>	0,665
170	76,67	4,191	973,7	3,72.10 <sup>-4</sup>	0,665
180	82,22	4,195	970,2	3,47.10 <sup>-4</sup>	0,673
190	87,78	4,199	966,7	3,27.10 <sup>-4</sup>	0,675
220	104,4	4,216	955,1	2,67.10 <sup>-4</sup>	0,684
240	115,6	4,229	946,7	2,44.10 <sup>-4</sup>	0,685

Dari temperatur rata-rata tersebut, maka dapat diketahui besarnya density, Specific heat, Konduktivitas, dan Viscositas dari fluida panas untuk (tr1) = 76,9 OC, dengan menginterpolasikan data – data dalam tabel 4.1, maka diperoleh data-data sebagai berikut:

- Density :  $973,7 - \left( \frac{76,85 - 76,67}{82,22 - 76,67} \right) \cdot (973,7 - 970,2) = 973,586 \text{ kg} / \text{m}^3$
- Viscositas :  $3,72 - \left( \frac{76,85 - 76,67}{82,22 - 76,67} \right) \cdot (3,72 - 3,47) = 3,71 \times 10^{-4} \text{ kg} / \text{m.s}$
- Specific heat :  $4,191 - \left( \frac{76,85 - 76,67}{82,22 - 76,67} \right) \cdot (4,191 - 4,195) = 4,191 \text{ kJ} / \text{kg} \cdot ^{\circ}C$
- Konduktivitas :  $0,668 - \left( \frac{76,9 - 76,67}{82,22 - 76,67} \right) \cdot (0,668 - 0,673) = 0,668 \text{ W} / \text{m} \cdot ^{\circ}C$

#### Fluida dingin (air laut)

Untuk mengetahui density, Specific heat, Konduktivitas, dan Viscositas dari fluida dingin, terlebih dahulu menghitung temperatur rata-rata dari fluida dingin. Temperatur rata-rata fluida dingin (air laut) dapat ditentukan dengan cara merata-ratakan antara temperatur air laut inlet evaporator (tc1) dengan temperatur air laut outlet evaporator stage 01 (tc2). Dan besarnya (tc1) dan (tc2) dapat dilihat pada gambar 4.1, maka temperatur rata-rata fluida dingin adalah sebagai berikut:

$$\text{Temperatur rata-rata fluida dingin (tr2)} = \frac{t_{c1} + t_{c2}}{2} = \frac{30^{\circ}C + 102,4^{\circ}C}{2} = 66,2^{\circ}C$$

Setelah mengetahui density, Specific heat, Konduktivitas, dan Viscositas dari fluida panas dan fluida dingin. Maka selanjutnya dapat menghitung heat balance evaporator adalah sebagai berikut:

$$\dot{m}_h \cdot C_{p_h} \cdot (\Delta t_h) = \dot{m}_c \cdot C_{p_c} \cdot (\Delta t_c) = Q$$

atau

$$\dot{m}_h \cdot C_{p_h} \cdot (t_{h1} - t_{h2}) = \dot{m}_c \cdot C_{p_c} \cdot (t_{c2} - t_{c1}) = Q$$

Dimana :

$\dot{m}_h$  : laju aliran massa fluida panas = (kg/s)

$C_{p_h}$  : kalor spesifik fluida panas = 4191 J/kg.0C

$\Delta t_h$  : beda temperatur fluida panas = (1130C - 40,70C) = 72,3 0C

$\dot{m}_c$  : laju aliran massa fluida dingin = 99,4 kg/s

$C_{p_c}$  : kalor spesifik fluida dingin = 4183 J/kg.0C

$\Delta t_c$  : beda temperatur fluida dingin = (102,40C - 300C) = 72,4 0C

$m$  distillate : laju aliran massa air distillate = 11,575 kg/s

Subkrip h untuk fluida panas, dan c untuk fluida dingin

laju aliran massa untuk fluida panas adalah :

$$\dot{m}_h \cdot C_{p_h} \cdot (\Delta t_h) = \dot{m}_c \cdot C_{p_c} \cdot (\Delta t_c) = Q$$

$$\dot{m}_h \cdot 4191 \text{ J/kg. 0C (72,30C)} = 99,4 \text{ kg/s} \cdot 4183 \text{ J/kg. 0C (72,4 0C)}$$

$$\dot{m}_h \cdot 303.009,3 = 30.103.210,48$$

$$\dot{m}_h = \frac{30.103.210,48}{302.590,2} = 99,35 \text{ kg/s}$$

$$\dot{m}_{h(out)} = \dot{m}_h - m \text{ distillate} = 99,35 \text{ kg/s} - 11,575 \text{ kg/s} = 87,775 \text{ kg/s}$$

➤ Panas yang akan didinginkan / diserap :

$$\begin{aligned} Q &= \dot{m}_h \cdot C_{p_h} \cdot (t_{h1} - t_{h2}) \\ &= 87,775 \text{ kg/s} \cdot 4191 \text{ J/kg. 0C (1130C - 40,70C)} \\ &= 26.596.641 \text{ J/s} \\ Q &= 26.596.641 \text{ Watt} = 26.596,641 \text{ kW} \end{aligned}$$

### Menghitung beda temperatur rata – rata logaritmik

Beda temperatur rata – rata logaritmik dapat dihitung dengan rumus :

$$\Delta t_m = \frac{\Delta t_a - \Delta t_b}{\ln \frac{\Delta t_a}{\Delta t_b}}$$

Dimana :

th1 : temperatur air laut inlet flash chamber evaporator = 113 0C

th2 : temperatur air laut outlet flash chamber evaporator = 40,7 0C

tc1 : temperatur air laut inlet evaporator = 30 0C

tc2 : temperatur air laut outlet evaporator stage 01 = 102,40C

sehingga :

$$\Delta t_{o1} = t_{h1} - t_{c2} = 113 \text{ 0C} - 102,4 \text{ 0C} = 10,6 \text{ 0C}$$

$$\Delta t_{o2} = t_{h2} - t_{c1} = 40,7 \text{ 0C} - 30 \text{ 0C} = 10,70 \text{ 0C}$$

Jadi temperatur rata – rata logaritmik adalah :

$$\Delta t_m = \frac{\Delta t_a - \Delta t_b}{\ln \frac{\Delta t_a}{\Delta t_b}} = \frac{10,6^{\circ} \text{C} - 10,7^{\circ} \text{C}}{\ln \frac{10,6^{\circ} \text{C}}{10,7^{\circ} \text{C}}} = 10,65 \text{ 0C}$$

### Kekuatan pipa air laut

Gaya tekan timbul pada pipa adalah disebabkan oleh tekanan air laut yang besarnya adalah

$P = 4,8 \text{ kg/cm}^2$   
 Ukuran utama dari pipa adalah :  
 $D_i$  : Inside diameter = 14,5 mm = 1,45 cm  
 $D_o$  : Outside diameter = 15 mm = 1,5 cm  
 $t$  : Tebal pipa = 0,5 mm = 0,05 cm  
 $L$  : satuan panjang = 1 cm

Besarnya gaya yang bekerja adalah sebesar :

Dimana :  
 $P$  : gaya yang bekerja  
 $P_{air}$  : 4,8 kg/cm<sup>2</sup>  
 $A$  : luas  
 $A = L \cdot D_o = 1 \text{ cm} \cdot 1,5 \text{ cm} = 1,5 \text{ cm}^2$

maka besarnya gaya yang bekerja :

$$P = P_{air} \cdot A = 4,8 \text{ kg/cm}^2 \cdot 1,5 \text{ cm}^2 = 7,2 \text{ kg}$$

Besarnya gaya tarik yang bekerja pada penampang dinding adalah:

Dimana :

$\sigma$  : gaya tarik (kg/cm<sup>2</sup>)  
 $P$  : gaya yang bekerja = 7,2 kg  
 $A$  : luas penampang dinding pipa (cm<sup>2</sup>)  
 $A = t \cdot L = 0,05 \text{ cm} \cdot 1 \text{ cm} = 0,05 \text{ cm}^2$

maka harga tegangan tarik yang terjadi adalah :

$$\sigma = \frac{P}{2 \cdot A} = \frac{7,2 \text{ kg}}{(2) \cdot 0,05 \text{ cm}^2} = 72 \text{ kg/cm}^2$$

Untuk bahan pipa titanium , tegangan yang diijinkan adalah sebesar 326,7 kg/cm<sup>2</sup>, sehingga terlihat bahwa tegangan yang terjadi masih memungkinkan menggunakan bahan titanium.

### Menghitung Keseimbangan Energi brine heater

$$\dot{m}_h \cdot h_{fg} = \dot{m}_c \cdot C_{pc} \cdot (t_{c4} - t_{c3}) = Q$$

Dimana :

$\dot{m}_h$  : laju aliran massa fluida panas = (kg/s)  
 $h_{fg}$  : Entalpi spesifik uap = 2.202.600 J/kg  
 $\dot{m}_c$  : laju aliran massa fluida dingin = 99,4 kg/s  
 $C_{pc}$  : kalor spesifik fluida dingin = 4219,8 J/kg.OC  
 $\Delta T_c$  : beda temperatur fluida dingin = (1130C – 102,40C) = 10,6 OC  
 Subkrip h untuk fluida panas, dan c untuk fluida dingin.

laju aliran massa untuk fluida panas adalah :

$$\dot{m}_h \cdot h_{fg} = \dot{m}_c \cdot C_{pc} \cdot (t_{c2} - t_{c1}) = Q$$

$$\dot{m}_h \cdot 2.202.600 \text{ J/kg} = 99,4 \text{ kg/s} \cdot 4219,8 \text{ J/kg} \cdot 0C (1130C - 102,40C)$$

$$\dot{m}_h \cdot 2.202.600 = 4.446.150,072$$

$$\dot{m}_h = \frac{4.446.150,072}{2.202.600}$$

$$\dot{m}_h = 2 \text{ kg/s} = 2 \text{ kg/s} \cdot 3600 = 7200 \text{ kg/hr}$$

Panas yang akan didinginkan / diserap :

$$\begin{aligned}
 Q &= \dot{m}_h \cdot h_{fg} \\
 &= 2 \text{ kg/s} \cdot 2.202.600 \text{ J} = 4.405.200 \text{ J/s} = 4.405.200 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

### Menghitung beda temperatur rata – rata logaritmik

Beda temperatur rata – rata logaritmik dapat dihitung dengan rumus :

$$\Delta t_m = \frac{\Delta t_a - \Delta t_b}{\ln \frac{\Delta t_a}{\Delta t_b}}$$

Dimana :

th3 : temperatur uap masuk Brine Heater = 120 0C  
th4 : temperatur steam condensate keluar Brine Heater = 120 0C  
tc3 : temperatur air laut yang masuk ke Brine Heater = 102,40C  
tc4 : temperatur air laut yang keluar dari Brine Heater = 113 0C

sehingga :

$$\Delta t_a = th3 - tc3 = 120 0C - 102,40C = 17,6 0C$$
$$\Delta t_b = th3 - tc4 = 120 0C - 113 0C = 7 0C$$

Jadi temperatur rata – rata logaritmik adalah :

$$\Delta t_m = \frac{\Delta t_a - \Delta t_b}{\ln \frac{\Delta t_a}{\Delta t_b}} = \frac{17,6^{\circ}C - 7^{\circ}C}{\ln \frac{17,6^{\circ}C}{7^{\circ}C}} = 11,496 0C$$

### Penurunan tekanan akibat gesekan air laut dengan pipa

Penurunan tekanan karena gesekan sangat dipengaruhi oleh faktor gesekan. Maka Penurunan tekanan karena gesekan dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$\Delta P_f = \frac{f \cdot G_c^2 \cdot L \cdot n}{5,22 \cdot 10^{10} \cdot D \cdot s \cdot \phi}$$

dimana :

$\Delta P_f$  : Pressure drop karena gesekan (psi)

D : inside diameter = 14,5.10-3m . 3,2808 ft = 0,04757 ft

GC : kecepatan massa fluida dingin = 1.284.154,93 lb/hr.ft2

Lt : panjang pipa = 4 m . 3,2808 ft = 13,1 ft

s : spesifik gravity = 1 (dari grafik)

n : passes = 2

$$\phi = 1$$

Harga friction faktor untuk NRe = 99.418 adalah 0,00016 atau  $f = 0,00016$  (dari grafik)

Maka Penurunan tekanan karena gesekan adalah

$$\Delta P_f = \frac{f \cdot G^2 \cdot L \cdot n}{5,22 \cdot 10^{10} \cdot D \cdot s \cdot \phi} = \frac{0,00016 \cdot (1.315.402,7 \text{ lb/hr.ft}^2)^2 \cdot 13,1 \text{ ft} \cdot 2}{5,22 \cdot 10^{10} \cdot 0,04757 \text{ ft} \cdot 1 \cdot 1}$$
$$= 2,9 \text{ ps} = 2,9 \text{ psi} / 14,7 \text{ atm} = 0,197 \text{ atm} = 0,197 \text{ kg/cm}^2$$

### Kekuatan pipa air laut

Gaya tekan timbul pada pipa adalah disebabkan oleh tekanan air laut yang besarnya adalah:

$$P = 4,8 \text{ kg/cm}^2$$

Ukuran utama dari pipa adalah :

Di : Inside diameter = 14,5 mm = 1,45 cm

Do : Outside diameter = 15 mm = 1,5 cm

t : Tebal pipa = 0,5 mm = 0,05 cm

L : satuan panjang = 1cm

Besarnya gaya yang bekerja adalah sebesar :

$$P = P_{air} \cdot A$$

Dimana :

P : gaya yang bekerja

$P_{air}$  : 4,8 kg/cm<sup>2</sup>

A : luas

$$A = L \cdot D_o$$

$$= 1 \text{ cm} \cdot 1,5 \text{ cm} = 1,5 \text{ cm}^2$$

maka besarnya gaya yang bekerja :

$P = \text{Pair} \cdot A$   
 $= 4,8 \text{ kg/cm}^2 \cdot 1,5 \text{ cm}^2 = 7,2 \text{ kg}$   
 Besarnya gaya tarik yang bekerja pada penampang dinding adalah

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

Dimana :

$\sigma$  : gaya tarik (kg/cm<sup>2</sup>)  
 $P$  : gaya yang bekerja = 7,2 kg  
 $A$  : luas penampang dinding pipa (cm<sup>2</sup>)  
 $A = t \cdot L = 0,05 \text{ cm} \cdot 1 \text{ cm} = 0,05 \text{ cm}^2$

maka harga tegangan tarik yang terjadi adalah :

$$\sigma = \frac{P}{2 \cdot A} = \frac{7,2 \text{ kg}}{(2) \cdot 0,05 \text{ cm}^2} = 72 \text{ kg/cm}^2$$

Untuk bahan pipa titanium, tegangan yang diijinkan adalah sebesar 326,7 kg/cm<sup>2</sup>, sehingga terlihat bahwa tegangan yang terjadi masih memungkinkan menggunakan bahan titanium.

### Menghitung Keseimbangan Energi Ejector Condenser

$$\dot{m} h \cdot h_{fg} = \dot{m} c \cdot C_{pc} \cdot (t_{c4} - t_{c3}) = Q$$

Dimana :

$\dot{m} h$  : laju aliran massa fluida panas = (kg/s)  
 $H_{fg}$  : Entalpi spesifik uap 2.751.899 J/kg

$\dot{m} c$  : laju aliran massa fluida dingin = 22,7 kg/s  
 $C_{pc}$  : kalor spesifik fluida dingin = 4.174 J/kg.OC  
 $\Delta t_c$  : beda temperatur fluida dingin = (34,80C - 300C) = 4,8 OC

Subkrip h untuk fluida panas, dan c untuk fluida dingin.

laju aliran massa untuk fluida panas adalah :

$$\dot{m} h \cdot h_{fg} = \dot{m} c \cdot C_{pc} \cdot (t_{c2} - t_{c1}) = Q$$

$$\dot{m} h \cdot 2.751.899 \text{ J/kg} = 22,7 \text{ kg/s} \cdot 4.174 \text{ J/kg} \cdot \text{OC} (34,80\text{C} - 300\text{C})$$

$$\dot{m} h \cdot 2.751.899 = 454.799,04$$

$$\dot{m} h = \frac{454.799,04}{2.751.899} = 0,16 \text{ kg/s} = 576 \text{ kg/hr}$$

Panas yang akan didinginkan / diserap :

$$Q = \dot{m} h \cdot H_{fg} = 0,16 \text{ kg/s} \cdot 2.751.899 \text{ J/kg} = 440.303,84 \text{ J/s}$$

$$Q = 440.303,84 \text{ Watt} = 440,303 \text{ Kw}$$

### Menghitung beda temperatur rata – rata logaritmik

Beda temperatur rata – rata logaritmik dapat dihitung dengan rumus :

$$\Delta t_m = \frac{\Delta t_a - \Delta t_b}{\ln \frac{\Delta t_a}{\Delta t_b}}$$

Dimana :

th5 : temperatur uap yang masuk ke ejector condenser = 154,7 OC

th6 : temperatur uap yang keluar dari ejector condenser = 154,7 OC

tc5 : temperatur air laut yang masuk ke ejector condenser = 30 OC

tc6 : temperatur air laut yang keluar dari ejector = 34,8 OC

sehingga :

$$\Delta t_a = t_{h5} - t_{c5} = 154,7 \text{ OC} - 30 \text{ OC} = 124,7 \text{ OC}$$

$$\Delta t_b = t_{h5} - t_{c6} = 154,7 \text{ OC} - 34,8 \text{ OC} = 119,9 \text{ OC}$$

Jadi temperatur rata – rata logaritmik adalah :

$$\Delta t_m = \frac{\Delta t_a - \Delta t_b}{\ln \frac{\Delta t_a}{\Delta t_b}} = \frac{124,7^{\circ}C - 119,9^{\circ}C}{\ln \frac{124,7^{\circ}C}{119,9^{\circ}C}} = 122,2^{\circ}C$$

### Penurunan tekanan akibat gesekan air laut dengan pipa

Penurunan tekanan karena gesekan sangat dipengaruhi oleh faktor gesekan. Maka Penurunan tekanan karena gesekan dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$\Delta P_t = \frac{f \cdot G_c^2 \cdot L \cdot n}{5,22 \cdot 10^{10} \cdot D \cdot s \cdot \phi}$$

dimana :

$\Delta P_t$  : Pressure drop karena gesekan (psi)

Di : inside diameter = 0,04757 ft

Gc : kecepatan massa fluida dingin = 1.807.760 lb/hr.ft2

Lt : panjang pipa = 2,6 m . 3,2808 = 8,53 ft

s : specific gravity = 1 (dari grafik)

n : passes = 2

$\phi$  = 1

Harga friction faktor untuk NRe = 29.516 adalah 0,0002 atau  $f = 0,0002$  . Tube side friction factor).

Maka Penurunan tekanan karena gesekan adalah

$$\begin{aligned} \Delta P_t &= \frac{f \cdot G_c^2 \cdot L \cdot n}{5,22 \cdot 10^{10} \cdot D \cdot s \cdot \phi} = \frac{0,0002 \cdot (1.807.760 \text{ lb} / \text{hr} \cdot \text{ft}^2)^2 \cdot 8,53 \text{ ft} \cdot 2}{5,22 \cdot 10^{10} \cdot 0,04757 \text{ ft} \cdot 1 \cdot 1} \\ &= 4,5 \text{ psi} = 4,5 \text{ psi} / 14,7 \text{ atm} = 0,3 \text{ atm} = 0,3 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

### Return pressure losses

Return pressure losses dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$\Delta P_b = \frac{4n}{s} \frac{V^2}{2g} \text{ (psi)}$$

Dimana :

V : kecepatan (fps)

s : specific gravity = 1 (dari grafik)

g' : percepatan gravitasi = (ft/sec2)

n : pasess = 2

Dengan besarnya harga G = 1.807.760 lb/hr.ft2, maka harga  $\frac{V^2}{2g} = 0,45$  (dari gambar 2.31.

tube side return pressure losses).

maka harga return pressure losses adalah :

$$\Delta P_r = \frac{4n}{s} \frac{V^2}{2g} \text{ (psi)} = \frac{4 \cdot 2}{1} \cdot 0,45$$

$$= 3,6 \text{ psi} = 3,6 \text{ psi} / 14,7 \text{ atm} = 0,24 \text{ atm} = 0,24 \text{ kg/cm}^2$$

Sedangkan total pressure drop pada aliran air laut adalah :

$$\Delta P_a = \Delta P_t + \Delta P_r = 0,3 \text{ kg/cm}^2 + 0,24 \text{ kg/cm}^2 = 0,54 \text{ kg/cm}^2$$

### Menghitung Keseimbangan Energi Drain Cooler

$$\dot{m}_h \cdot C_{p_h} \cdot (t_{h7} - t_{h8}) = \dot{m}_c \cdot C_{p_c} \cdot (t_{c8} - t_{c7}) = Q$$

Dimana :

$\dot{m}_h$  : laju aliran massa fluida panas = kg/s

Cph : kalor spesifik fluida panas = 4197 J/kg.0C

$\Delta t_h$  : beda temperatur fluida panas = (1200C - 500C) = 700C

$\dot{m}_c$  : laju aliran massa fluida dingin = 22,77 kg/s  
 $C_{pc}$  : kalor spesifik fluida dingin = 4174 J/kg.0C  
 $\Delta t_c$  : beda temperatur fluida dingin = (40,90C – 34,80C) = 6,1 0C  
 Subkrip h untuk fluida panas, dan c untuk fluida dingin.  
 laju aliran massa untuk fluida panas adalah :

$$\dot{m}_h \cdot C_{p_h} \cdot (\Delta t_h) = \dot{m}_c \cdot C_{p_c} \cdot (\Delta t_c) = Q$$

$$\dot{m}_h \cdot 4197 \text{ J/kg. 0C (700C)} = 22,77 \text{ kg/s} \cdot 4174 \text{ J/kg. 0C (6,10C)}$$

$$\dot{m}_h \cdot 293.790 = 579.756,078$$

$$\dot{m}_h = \frac{579.756,078}{293.790} = 1,97 \text{ kg/s}$$

Panas yang akan didinginkan / diserap :

$$\begin{aligned}
 Q &= \dot{m}_h \cdot C_{p_h} \cdot (t_{h7} - t_{h8}) = 1,97 \text{ kg/s} \cdot 4197 \text{ J/kg. 0C (1200C - 500C)} \\
 &= 579.647,67 \text{ J/s} = 579.647,67 \text{ Watt} = 579,64 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisa yang telah dibuat, maka dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut :

1. Pada perencanaan desalination plant dengan kapasitas 41,67 ton / jam ini menggunakan titanium sebagai bahan pipa, karena titanium dapat dipakai pada temperatur tinggi, sehingga tidak mudah pecah jika dilalui fluida dengan temperatur tinggi.
2. Pada analisa perhitungan terdapat perbedaan antara hasil perhitungan dengan spesifikasi data dari alat – alat heat exchanger . walaupun terjadi perbedaan tetapi perbedaan tersebut < 5 %.
3. Dengan perbedan yang tidak terlalu signifikan antara hasil perhitungan dengan spesifikasi data, maka peencanaan desalination dengan kapasitas 41,67 ton / jam ini dapat digunakan.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Donald R.Pitts, Leighton E. Sissom, E. Jasjfi, "Perpindahan Kalor", 1987,Erlangga.
2. Donald Q. Kern, "Process HeatTransfer", 1950, Mc.Graw-Hill, ed. 1.
3. Holman. JP, E. Jasjti "Perpindahan Kalor", 1991, Erlangga, ed. 6.
4. Kreith, Priyono, " Prinsip – prinsip perpindahan panas", 1994, Erlangga, ed. 3.
5. Poerba Kesman Ir., F. Joscornelius Albert Ir. "Heat Transfer untuk STM kimia dan sederajat" , 1997, Armico.
6. Robert H Perry, Cecil H Chilton, " Chemical Engineers' HandBook" , 1973, Mc.Graw-Hill, ed. 5.
7. Wajan Djana, "Pengolahan Air Laut (Evaporator)", 1977, PLN Pembangkitan JABAR – JAYA sektor priok.
8. Waren L. McCabe, Julian C. Smith, dan Peter Harriot, E. Jasjfi, " Opersai Teknik Kimia", 1991, Erlangga, ed. 1.
9. William C. Reynold, Henry C, Perkins, dan Dr.Ir. Filino Harahap, Msc, " Termodinamika Teknik ", 1996, Erlangga, 2nd ed.