

## **ANALISIS KINERJA CONDENSER SHELL AND TUBE UNIT 2 DI PT. PLN (PERSERO) SEKTOR ASAM-ASAM KALIMANTAN SELATAN**

**Hairudin<sup>1)</sup>, Aqli Mursadin<sup>2)</sup>**

<sup>1,2</sup>Program Studi Teknik Mesin

Fakultas Teknik Universitas Lambung Mangkurat

Jl. Akhmad Yani Km. 36 Banjarbaru, Kalimantan Selatan, 70714

Telp. 0511-4773858

Email: khairudinmjr@gmail.com

### **Abstract**

*The condenser is a type of heat exchanger that functions to condense fluid. On steam power systems. The main function of the condenser is to convert steam into liquid. The purpose of this study is to determine the value and influence of heat balance, heat transfer coefficient, pressure drop and condenser efficiency. The results of this study indicate that in 2018 the average heat balance ( $Q$ ) was obtained at 356,017,533.46 Kj / hour while in 2019 the results of the average heat balance ( $Q$ ) were 640,293,647,066 Kj / hour, fouling factor was not affect the balance sheet. The average gross heat transfer coefficient ( $UD$ ) in 2018 amounted to 204,274.25 Kj / hour.m<sup>2</sup>.  $^{\circ}$  C and the average net heat transfer coefficient ( $UC$ ) was 206,378 Kj / hr.m<sup>2</sup>.  $^{\circ}$  C whereas in 2019 the average heat transfer coefficient is obtained by the average gross heat transfer coefficient ( $UD$ ) of 366,544.07 Kj / jam.m<sup>2</sup>.  $^{\circ}$  C and the Clean heat transfer coefficient ( $UC$ ) is 448,554 Kj / h.m<sup>2</sup>.  $^{\circ}$  C. Fouling factor is very influential on the heat transfer coefficient because the greater the fouling in the tube will result in the inhibition of the heat transfer rate in the tube, so that the heat transfer coefficient decreases. The pressure drop in 2018 is still within the permissible limits, with an average of 504.28 bars and 2019 of 513.03 bars. The effectiveness of the condenser in 2018 is an average of 23.330 after maintenance has been obtained, the average effectiveness of the condenser in 2019 is 40.743*

**Keywords:** Surface Condensers, Effectiveness, Comparison

### **PENDAHULUAN**

Pembangkit Listrik Tenaga Uap atau sering disebut (PLTU) di Asam-asam adalah salah satu unit pembangkit listrik yang dalam wilayah usaha PT. PLN (persero) wiayah Kalimantan Selatan dan Kalimantan Tengah. Pembangkit listrik ini Telah dioprasikan sejak tahun 2000 dengan kapasitas terpasang sebesar 2 x 65 MW. Karena meningkatnya kebutuhan daya listrik, maka pada tahun 2010 PLTU Asam-asam menambah lagi kapasitas sebesar 2 x 65 MW, sehingga menjadi 4 x 65 MW. Pembangkit ini menggunakan energi pada uap panas yang dikonversikan menjadi energi kinetik dan disalurkan kegenerator untuk menghasilkan listrik.

Untuk memproses produksi listrik PLTU, peralatan utama adalah *boiler feedwater pump, boiler, turbin uap, generator, trafo utama, kondensor, dan alat bantu (auxiliary)*. Uap yang dihasilkan dari boiler dikonversikan menjadi energi kinetik dan disalurkan untuk menjalankan turbin uap yang telah disambungkan dengan generator untuk menghasilkan energy listrik. Uap yang telah digunakan

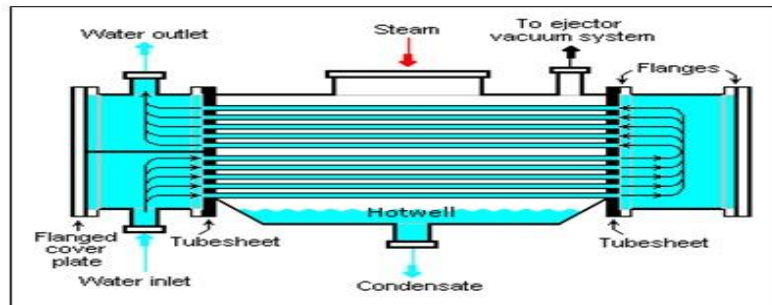
untuk memutar turbin didinginkan dengan menggunakan air laut atau air sungai didalam kondensor untuk dijadikan air kondensat dan di pompakan lagi kedalam boiler untuk dijadikan uap bertekanan.

**Pengertian Kondensor**

Kondensor adalah suatu peralatan yang berfungsi untuk mengubah uap menjadi air. Proses perubahanya ini dilakukan dengan cara mengalirkan uap kedalam suatau ruangan yang berisi pipa-pipa air (*tubes*).

**Prinsip Kerja Kondensor**

Uap ini akan keluar untuk meninggalkan tingkat akhir turbin tekanan rendah yang akan mengalir memasuki kondensor. Uap yang masuk kedalam *shell* kondensor melalui *steam inlet connection*. Uap ini nantinya bersinggungan dengan kondensor yang bertemperatur rendah sehingga temperatur uap turun dan terkondensasi, menghasilkan kondensat yang terkumpul pada *hotwell*. Kondensat yang terkumpul di *hotwell* kemudian dipindahkan dari kondensor dengan menggunakan pompa kondensat ke *exhaust* kondensat dapat dilihat pada Gambar 1.

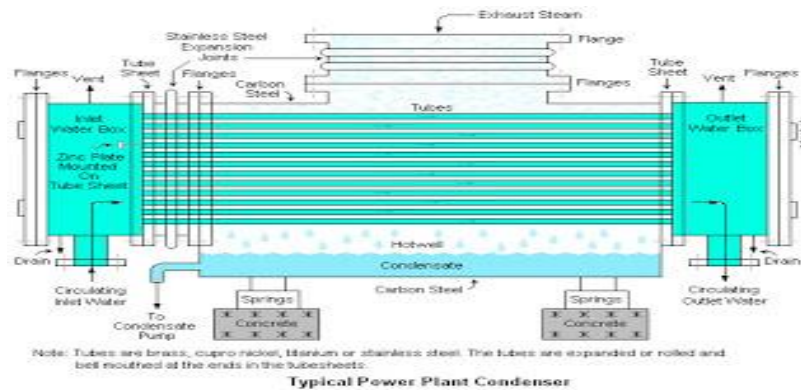


Gambar 1. Prinsip Kerja Kondensor

**Tipe-tipe Kondensor**

1. Kondensor permukaan (*surface condensor*)

Kondensor ini terdiri dari bejana yang nantinya dihubungkan dengan sisi uap bekas yang keluar dari turbin uap. Didalamnya dipasang pipa-pipa *tube* pendingin yang mendapat aliran dari air pendingin utama. Uap bekas dari turbin uap mengalir melalui bagian luar pipa. Kondensor permukaan dapat dilihat pada Gambar 2.

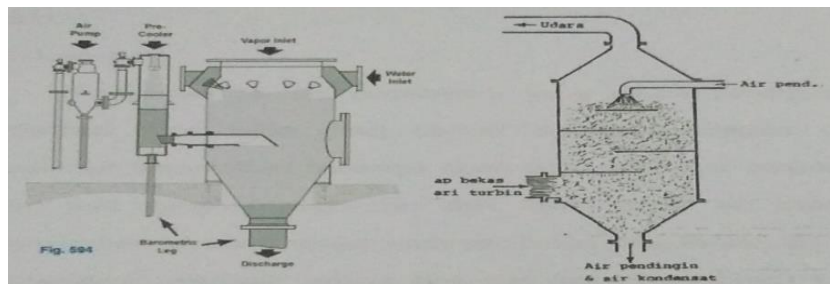


Gambar 2. Kondensor Permukaan

## 2. Kondensor kontak langsung (*direct contact condensor*)

Kondensor tipe ini terbuat dari sebuah bejana yang di dalamnya dipasang plat pengarah aliran atau baffle. Uap bekas dari turbin uap ini masuk melalui sisi samping bawah kondensor, sedangkan air pendingin disemprotkan dari sisi atas. Prinsip kerja kondensor kontak langsung adalah sebagai berikut:

Uap sisa dari turbin uap masuk ke dalam kondensor ini melalui sisi samping bawah, dan secara alami (karena uap ringan) akan menjadi ke atas. Air pendingin dimasukkan dari sisi atas dalam bentuk semprotan atau spray. Air kemudian disemprotkan sehingga langsung bersentuhan dengan uap, sehingga terjadi proses perpindahan panas secara langsung dari uap ke air pendingin. Uap yang terkena pancaran air pendingin akan terkondensasi dan bercampur dengan air,. Selanjutnya campuran air kondensat dan air pendingin dipompa ke menara pendingin untuk mendapat pendingin dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Kondensor Kontak Langsung

### Konstruksi dan bagian-bagian Kondensor

Sebagaimana peralatan penukar kalor (*heat exchanger*) lainnya kondensor terdiri dari casing (*shell*) dari pipa-pipa yang terpasang pada *tubes plate* (*tubes shell*). Pada kedua ujung sisi tube plate terdapat ruang untuk masuk dan keluar air pendingin yang disebut *water box*. Penutup *water box* dilengkapi dengan *main hole* untuk keperluan pemeriksaan ataupun pemeliharaan.

#### 1. Casing (*shelf*)

*Shell* adalah bagian terluar kondensor dan yang berupa tabung penukar panas. *Shell* dibuat dari pelat baja karbon dan diberikan regangan yang berfungsi untuk memberikan kekakuan untuk *shell*.

#### 2. Pipa (*tube*)

Umumnya tabung ini terbuat dari *stainless steel*, paduan tembaga seperti kuningan atau perunggu, nikel cupro atau titanium tergantung pada beberapa kriteria seleksi.

#### 3. *Water boxes*

Pada setiap akhir sisi lembar tabung kondensor ditutup oleh penutup kotak yang disebut *water box*,

#### 4. *Hotwell*

*Hotwell* adalah area penyimpanan dengan volume yang cukup untuk menampung semua kondensat yang dihasilkan dalam kondensor dalam waktu tertentu.

### Kondensor PLTU Asam-Asam dan Spesifikasinya

Spesifikasi Kondensor:

1. Data teknik kondensor
 

Jumlah	:Suhu (1) per unit
Tipe	:Tekanan Tunggal, Shell Tunggal
Permukaan Kondensor	:4790 m <sup>2</sup>
Kuantitas Pertukaran Panas	:1.054 x 105 kW
Kevakuman	:95 mbar
Kebersihan <i>Tube</i>	:90%
Koefisien Perpindahan Panas Menyeluruh	:3089.6 W/m <sup>2</sup> K
  
2. Sirkulasi air
 

Kualitas	:Air Payau
Kapasitas Air	:192 m <sup>3</sup> /min
Temperature Masuk	:33°C
Kenaikan Temperatur	:8°C
Kecepatan (Dalam Tube)	:1,9 m/s
Jumlah <i>Pass</i>	:2 <i>Pass</i>
Kehilangan Tekanan	:8,16 mAq
Temperatur Kondensat	:40.87°C
Kandungan Oksigen dalam Kondensat:	0.005 cc/l (7ppb)
Kapasitas <i>Hotwell</i>	:17 m <sup>2</sup>
  
3. Data konstruksi
 

Tube Bahan	:70-30 Cu-Ni (B11)
Diameter Luar	:25.4 mm
Ketebalan	:1 mm
Jumlah Keseluruhan	:7840 buah
Panjang Efektif	:7658 mm
Panjang Keseluruhan	:7720 mm
Ketebalan <i>Plat Shell</i>	:19 mm (Bawah), 16 mm (Atas)
Ketebalan Lembar <i>Tube</i>	:28 mm
Ketebalan Plat Pendukung	:16 mm
Diameter Luar/Dalam Nosel Air	:1000 mm

### Faktor yang Mempengaruhi Kinerja Kondensor

Proses perpindahan panas dari uap ke air pendingin di dalam kondensor di pengaruhi faktor, yaitu:

1. Jumlah aliran air pendingin
2. Kebersihan pipa pada kondensor dan *plate tube*
3. Kinerja unit pembuang udara/gas
4. Kebocoran udara pada *tube*
5. Suhu air pendingin tidak stabil

Proses perpindahan panas ini tentu sangat berpengaruh terhadap kerja kondensor. Gangguan pada salah satu faktor tersebut diatas akan berakibat pada penurunan vakum kondensor. Penurunan vakum kondensor yang naiknya tekanan balik akan berpengaruh pada keefektifan kinerja turbin.

### Neraca Panas

Dalam mendesain ataupun menganalisis STHE (*shell and tube heat exchanger*) langkah pertama yaitu diawali dengan perhitungan neraca antara kedua stream, yaitu panas (*hot*) dan dingin (*cold*). Neraca panas merupakan suatu hukum keseimbangan panas, dimana panas yang masuk sama dengan panas yang dilepaskan (Sitompul, 1992). Persamaanya dapat ditulis sebagai berikut:

$$Q_{\text{yang dipindahkan}} = Q_{\text{yang diserap}}$$

$$W_h \cdot CP_h \cdot (T_2 - T_1)_h = W_c \cdot CP_c \cdot (T_2 - T_1)_c \quad (1)$$

Di mana:

Q = kalor yang dipindahkan (Btu/jam)

C<sub>p</sub> = panas jenis (Btu/lb°F)

w = laju aliran massa (lb/jam)

T<sub>1</sub> = temperatur masuk (°F)

T<sub>2</sub> = temperature keluar (°F)

H dan C sama-sama menunjukkan *hot* (fluida panas) dan *cold* (fluida dingin). Q bisa disebut juga dengan *duty* atau *heat load*. Biasanya proses perpindahan panas ini (antara dua aliran panas dan dingin) tersebut seringkali dimasukkan saat keadaan kesetimbangan thermal, dimana panas yang akan dilepaskan (oleh fluida panas, maka hal ini menyebabkan temperatur fluida panas menjadi lebih rendah dari nilai awalnya) dan panas yang diterima (oleh fluida dingin, ini menyebabkan terjadinya kenaikan temperatur fluida dingin) adalah sama, sehingga dengan demikian kita dapat menghubungkan serta menghitung variable-varibel yang tidak diketahui (misal *flowrate* atau temperatur) dengan menggunakan informasi dari kedua fluida panas dan dingin tersebut.

### Selisih Temperatur Rata-Rata Logaritmik (LMTD)

Pokok perhitungan pada alat penukar kalor adalah masalah perpindahan panas. Apabila panas I ini akan dilepaskan besarnya sama dengan Q persatuan waktu, maka panas diterima oleh fluida dingin sebesar Q pula (perpindahan panas dianggap sempurna). Sehingga kemampuan untuk menerima panas, dipengaruhi oleh 3 hal yaitu:

1. Koefisien perpindahan panas keseluruhan (*the overall heat transfer coefficient*), dinyatakan dengan U
2. Luas perpindahan panas, dinyatakan dengan A
3. Selisih temperatur rata-rata 9mean temperatur *difficiencie, the driving temperatur force*), dinyatakan dengan  $\Delta T_{lm}$

Hubungan antara besaran itu adalah:

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T_{lm} \quad (2)$$

Selisih temperatur rata-rata logaritmik (*logarithmic mean overall temperatur difference-LMTD*) atau T<sub>lm</sub> (Sitompul,1992) dapat dihitung dengan formula berikut:

$$LMTD = \Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_{maks} - \Delta T_{min}}{\frac{\ln \Delta T_{maks}}{\Delta T_{min}}} \quad (3)$$

Di mana :

T<sub>lm</sub> = Selisih temperatur rata-rata logaritmik (°F)

- $T_1$  = Temperatur fluida masuk ke dalam *shell* (diluar *tubes*) (°F)  
 $T_2$  = Temperatur fluida yang keluar dari *shell* (°F)  
 $t_1$  = Temperatur fluida masuk ke dalam *tube* (°F)  
 $t_2$  = Temperatur fluida yang keluar dari *tube* (°F)

Dalam melakukan perencanaan alat penukar kalor juga harus dicari selisih temperature rata-rata sebenarnya, yaitu dengan menggunakan faktor seleksi ( $F_T$ ). Besar selisih temperatur rata-rata sebenarnya ( $\Delta T_m$ ) (Sitompul, 1992) adalah:  

$$\Delta T_m = Fr \times T_{lm} = F_T \times LMTD \quad (4)$$

### Koefisien Perpindahan Panas Keseluruhan

Koefisiensi perpindahan panas keseluruhan adalah hantaran perpindahan panas dari *heat exchanger* pada sebuah dinding yang mana pada salah satu sisinya terdapat fluida panas dan sisi lainnya terdapat fluida yang lebih dingin.

Koefisien perpindahan panas bersih:

$$U_c = \frac{h_{i_o} + h_o}{h_{i_o} + h_o} \quad (5)$$

Di mana:

$U_c$  = *Clean overall heat transfer coefficient* koefisien perpindahan panas dari *heat exchanger* pada saat bersih dan belum terdapat endapan atau kotoran.

$H_{i_o}$  = koefisiensi perpindahan panas pada sisi dalam *tube* (Btu/hr.Ft<sup>2</sup>.°F)

$h_{i_o}$  = koefisiensi perpindahan panas pada sisi luar *tube* (Btu/hr.Ft<sup>2</sup>.°F)

Koefisien perpindahan panas kotor:

$$U_D = \frac{q}{A \Delta T_m} \quad (6)$$

Dimana:

$U_D$  = *Overall heat transfer coefficient design* yaitu hantaran perpindahan panas dari *heat exchanger* setelah dioperasikan dan sesudah terdapat endapan atau kotoran. (Btu/hr.Ft<sup>2</sup>.°F).

$q$  = Panas yang diterima oleh *tube* (Btu/hr)

$A$  = Luas perpindahan panas (ft<sup>2</sup>)

$\Delta T_m$  = Beda temperatur rata-rata sebenarnya (°F)

### Faktor Pengotoran (*Fouling Factor*)

Faktor ini pengotoran jelas mempengaruhi proses perpindahan panas pada alat penukar kalor. Pengotoran pada bagian dalam dan bagian luar tube selalu terjadi selama alat beroperasi. Terjadinya kotoran atau deposit pada permukaan tube akan menaikkan tahanan panasnya. Maka hal ini akan menurunkan perpindahan panas keseluruhan ( $U$ ). semakin tebal kotoran pada tube maka akan semakin besar pula gangguan (hambatan) yang terjadi. Beberapa yang dapat menimbulkan pengotoran penukar kalor adalah:

1. Material *tubes* serta ketelitian pengerjaan
2. Kecepatan aliran fluida
3. Fluida alami dan material endapan

4. Waktu atau lamanya beroperasi sejak pembersihan terakhir akibat dari terjadinya *fouling factor* yaitu:
- Ukuran *heat exchanger* menjadi lebih besar, kehilangan energi meningkat, biaya perawatan meningkat serta waktu shutdown menjadi lebih panjang
  - Mengakibatkan kenaikan suatu tahanan *heat transfer*, sehingga meningkatkan akan berdampak pada biaya, baik investasi, operasi maupun perawatan Faktor pengotoran (Holman,1997) dapat dicari dengan persamaan:

$$R_d = \frac{1}{U_D} = \frac{1}{U_c} \quad (7)$$

Dimana:

$U_c$  = koefisiensi perpindahan panas keseluruhan yang bersih (Btu/jam.Ft<sup>2</sup>.°F).

$U_c$  = koefisiensi perpindahan panas menyeluruh (*design overall coefficient*) (Btu/jam.Ft<sup>2</sup>.°F).

### Efisiensi Efektif

Dodge, B.F menyatakan defisiensi efisiensi alat penukar kalor itu sebagai perbandingan banyaknya panas yang dapat dipindahkan dari fluida dengan panas maksimum yang dapat dipindahkan.

Secara efisiensi (  $\epsilon$  ) alat penukar kalor ( Sitompul, 1992) dituliskan sebagai berikut:

$$\epsilon = \frac{Q_{act}}{Q_{max}} = \frac{W_c \cdot Cp_c \cdot (t_1 - t_2)}{W_h \cdot Cp_h \cdot (T_1 - t_1)} = \frac{t_2 - t_1}{T_2 - t_1} \quad (8)$$

### Penurunan Tekanan Pada Sisi Tube

Suatu penurunan tekanan pada *tube* alat penukar kalor oleh *sider* dan *tate* dibuat kolerasi terhadap faktor gesekan dari fluida yang dipanasi atau didinginkan di dalam *tube*, menurut Kern (1950 : 148)  $\Delta P_t$  dapat dicari dengan menggunakan persamaan:

$$\Delta P_t = \frac{f \times (G_t)^2 \times L \times n}{(5,22 \times 10^{10}) \times ID_t \times SG_t \times \phi_t} \quad (9)$$

Dimana:

$n$  = Jumlah pass aliran *tube*

$f$  = Faktor gesekan

$G_t$  = Kecepatan massa fluida yang mengalir (lb/ft<sup>2</sup>.hr)

$L$  = Panjang *tube* (ft)

$L.n$  = Panjang total lintasan dalam (ft)

Mengingat bahwa fluida mengalami belokan pada saat pass-nya, maka akan terdapat kerugian tambahan penurunan yang dinyatakan dengan  $p_r$  (*retum loss*). Besarnya *retum* adalah 4 kali head kecepatan setiap pass. Maka menurut Kern (1950:148)  $\Delta P_r$  diformulasikan menjadi:

$$\Delta P_r = \frac{4n}{s} \frac{V^2}{2g} [psi] \quad (10)$$

Menurut Kern (1950:148) penurunan tekanan total pada sisi *tube* dapat dicari dengan persamaan:

$$\Delta P_T = \Delta P_t + \Delta P_r = [\text{psi}]$$

(11)

Di mana:

$\Delta P_T$  = Penurunan tekanan keseluruhan

$\Delta P_t$  = Penurunan tekanan *tube*

$\Delta P_r$  = Penurunan tekana akibat balikan

## METODE PENELITIAN

Penelitian adalah suatu kegiatan ilmiah untuk menjawab keingintahuan manusia yang berkaitan dengan suatu analisa dan konstruksi, yang dilakukan secara metodologis, sistematis dan konsisten. Metodologis berarti sesuai dengan metode atau cara tertentu, sistematis adalah berdasarkan suatu sistem, sedangkan konsisten berarti tidak adanya hal-hal yang bertentangan dalam suatu kerangka tertentu. Dengan demikian penelitian merupakan sarana yang digunakan oleh manusia untuk memperkuat, membina serta mengembangkan ilmu pengetahuan.

### Waktu dan Tempat Penelitian

Proses pengambilan data secara studi pustaka dilakukan di *Engineering* center milik PT. PLN (Persero) Sektor Asam-Asam Kalimantan Selatan, Indonesia. Pengambilan data operasional secara umum dilakukan oleh file operator. Dimana proses pengambilan data dilakukan didalam control room menggunakan monitor-monitor control yang terhubung ke lapangan dengan menggunakan system PLC.

### Pengolahan Data

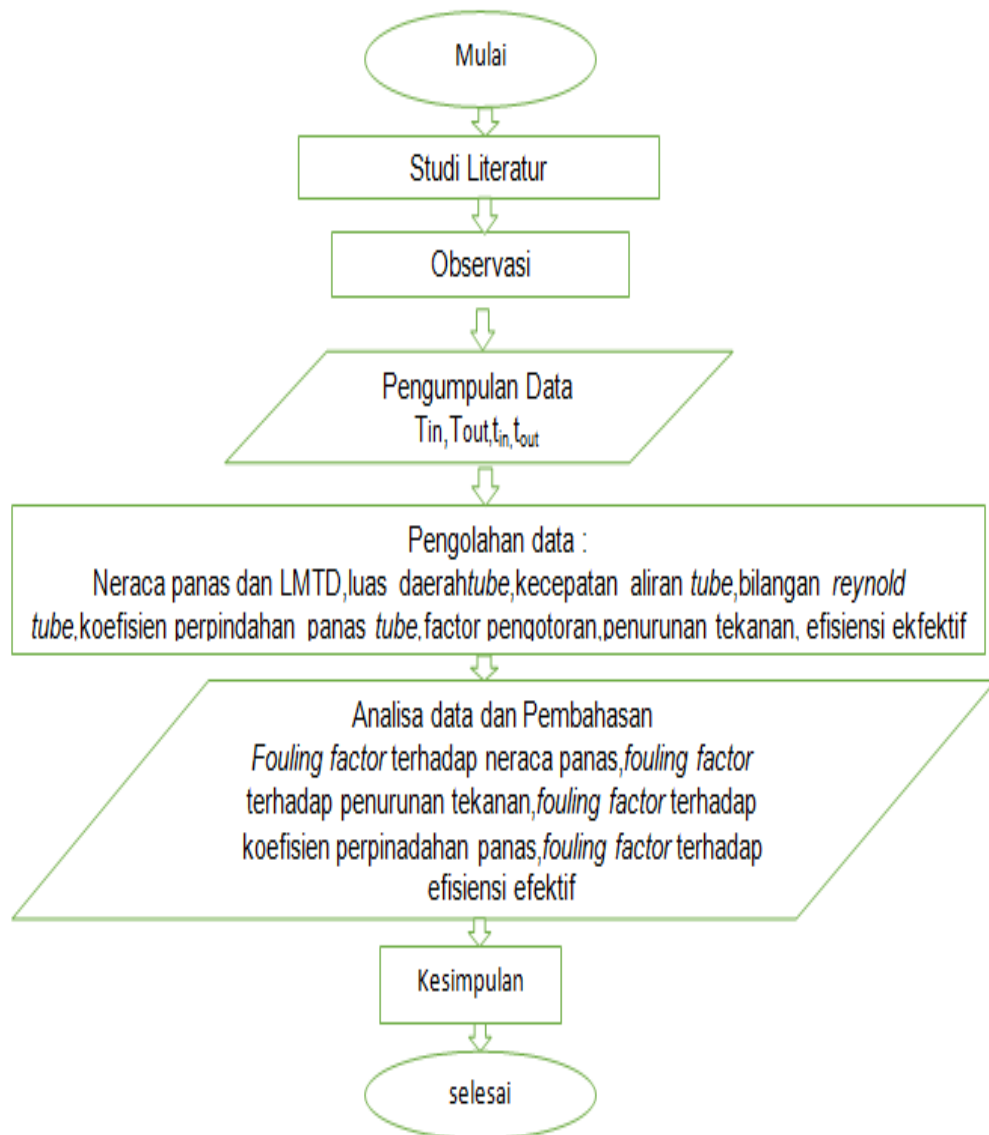
Pembuatan data menurut *George R. Terry, Phh*, 2015. adalah serangkaian tindakan operasi atau informasi yang diinginkan. Arti lain dari pengolahan data adalah suatu sistem yang nantinya mengolah masukan berupa data mentah menjadi suatu laporan yang terstruktur dan akurat.

Proses pembuatan data dilakukan secara analisis dengan menggunakan data-data mentah yang didapat dari studi pustaka dan penelitian lapangan. Hasil dari pengolahan data ini akan menghasilkan suatu analisis dan dapat disimpulkan yang diharapkan dapat berguna bagi kepentingan peneliti maupun perusahaan.

### Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa tahapan seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 4.





Gambar 4. Diagram Alir Penelitian

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Data penelitian yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan dalam Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Data pengamatan kondensor September 2018

NO	Temperatur Air		Temperatur Uap		Neraca panas (Q)	$\Delta$ TLMTD	Heat transfer Overall coefficient Design (Ud)	Clean overall heat transfer coefficient (Uc)	Fouling factor	Penurunan tekanan ( $\Delta$ P)	Keefektifan
	In (t <sub>1</sub> )	Out (t <sub>2</sub> )	In (T <sub>1</sub> )	Out (T <sub>2</sub> )							
1	92,8	100,9	148,1	147,7	204,596,030,43	51,272,43	117.392,44	124.711	0,00851	7.454	14,7
2	88,3	102,4	148,8	148,1	354,705,418,10	53,429,60	216.730,86	226.577	0,00491	7.438	23,3
3	88,9	103,8	148,5	148,1	377,726,814,96	50,763,35	130.023,51	243.069	0,00462	7.478	25
4	95,0	104,0	148,1	147,6	226,609,929,68	36,259,54	206.740,23	139.063	0,00769	7.471	16,9
5	89,1	103,5	147,2	147,2	363,800,428,82	51,985,55	211.508,43	233.064	0,00479	7.433	24,8
6	88,3	102,9	150,8	148,1	368,624,963,99	53,726,70	210.638,08	236.250	0,00472	7.457	23,3
7	88,3	102,9	151,1	147,9	367,108,086,08	54,103,34	210.638,08	235.433	0,00474	7.376	23,2
8	88,0	102,6	150,1	147,6	368,347,934,18	53,105,59	211.349,48	236.327	0,00743	7.548	23,5
9	88,3	103,3	148,3	147,4	377,726,814,96	51,791,53	216.730,86	243.069	0,00461	7.477	25
10	89,4	104,0	147,7	147,6	367.108,886,08	51,578,94	210.638,08	235.433	0,00474	7.355	25
11	95,0	104,4	149,7	148,1	236,470,278,73	49,327,35	135.681,15	145.555	0,00737	7.488	17,1
12	90,0	104,9	148,8	147,7	377,726,814,96	50,955,41	216.730,86	243.069	0,00461	7.438	25,3
13	89,2	104,2	149,4	148,5	376,172,483,27	51,623,37	215.839,03	241.949	0,00463	7.373	24,9
14	84,2	103,1	150,1	148,3	477,488,062,83	56,613,75	273.971,55	317.457	0,00365	7.334	28,6
15	83,1	102,7	150,6	148,3	496,050,877,48	55,867,34	284.617,56	331.840	0,00351	7.463	29,0

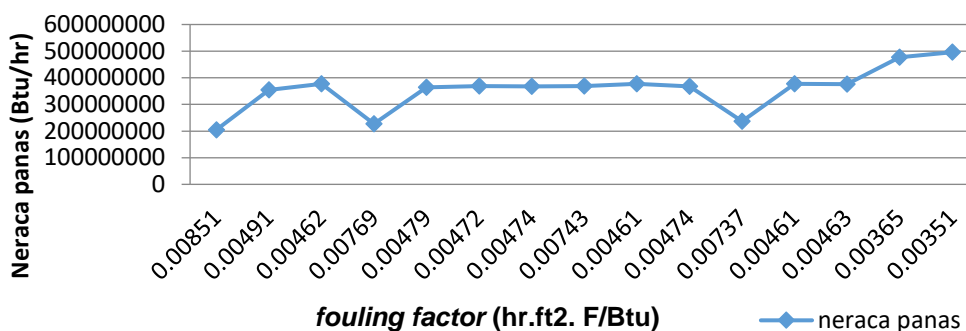
Tabel 2. Data pengamatan kondensor Februari 2019

No	Temperatur Air		Temperatur Uap		Neraca panas (Q)	$\Delta T_{LMTD}$	Heat transfer Overall coefficient Design (Ud)	Clean overall heat transfer coefficient (Uc)	Fouling factor	Penurunan tekanan ( $\Delta P$ )	Keefektifan
	In (t <sub>1</sub> )	Out (t <sub>2</sub> )	In (T <sub>1</sub> )	Out (T <sub>2</sub> )							
1	92,7	118,2	157,8	154,8	645.614,140.49	55,263,15	370.438,39	454.632	0,00269	7.453	39,2
2	88,7	106,3	142,3	127,6	445.655,525.31	35,108,69	255.706,78	293.292	0,00391	7.548	32,8
3	91,9	117,0	156,4	152,8	632.578,641.92	48,892,67	362.958,92	443.431	0,00272	7.477	38,9
4	92,8	118,6	155,5	153,7	648.104,398.89	47,916,66	371.867,24	456.801	0,00268	7.376	41,1
5	92,8	119,1	153,5	154,9	663.935,782.60	47,519,08	380.950,92	470.584	0,00262	7.433	43,3
6	92,5	118,0	153,1	144,1	646.231,418.36	41,022,59	370.792,57	455.180	0,00269	7.477	42
7	93,0	119,1	156,9	155,1	657.168,796.07	48,947,36	377.068,18	465.890	0,00265	7.376	40,8
8	91,9	115,7	147,4	145,4	600.270,707.56	41,612,90	344.421,38	416.072	0,00290	7.548	42,9
9	92,8	118,8	154,6	154,2	655.333,269.33	47,739,60	376.015,00	463.076	0,00265	7.477	42,1
10	92,7	118,2	155,7	153,9	643.572,200.29	48,318,58	369.266,77	452.913	0,00270	7.355	40,5
11	88,0	118,4	154,2	153,1	768.528,405.89	49,141,96	440.963,74	565.686	0,00226	7.488	58
12	93,0	117,9	156,6	153,0	628.027,716.44	48,060,70	360.347,71	439.540	0,00277	7.438	39,2
13	92,5	118,2	156,6	152,2	648.104,398.89	47,702,06	360.391,70	439.605	0,00277	7.376	40,1
14	93,2	118,9	156,4	153,3	650.293,266.52	47,682,11	373.123,16	458.698	0,00268	7.334	40,7
15	93,4	119,8	156,9	154,4	668.986,045.77	47,847,68	383.848,64	475.014	0,00260	7.473	41,6

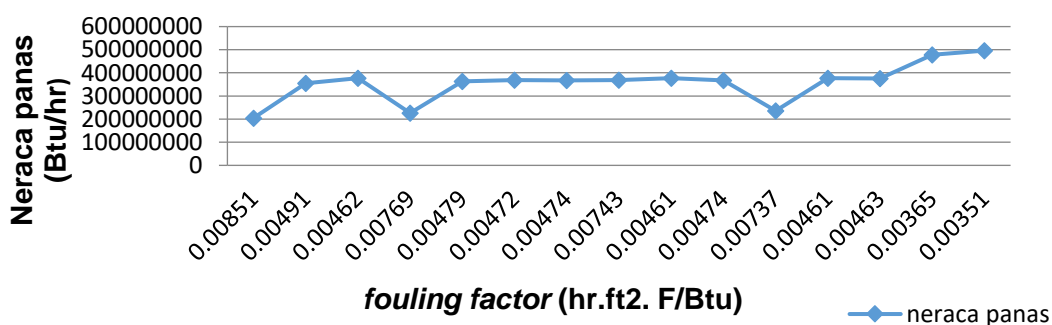
### Pembahasan

#### Neraca Panas Terhadap *Fouling Factor*

Hubungan antara neraca panas terhadap *fouling factor* dapat dilihat dalam Gambar 5 dan Gambar 6.



Gambar 5. Grafik Hubungan Neraca Panas Terhadap *Fouling Factor* 2018



Gambar 6. Grafik Hubungan Neraca Panas Terhadap *Fouling Factor* 2019

Dari Gambar 5 dan Gambar 6 dapat dilihat bahwa rata-rata neraca panas pada bulan September 2018 sebelum *maintenance* selama 15 hari sebesar 375.618.439,57 Kj/jam dan pada bulan Februari 2019 sebesar 675.404.885,61 Kj/jam maka dengan luas perpindahan panas sebesar 15.718,34 m<sup>2</sup>.

Berdasarkan Gambar 5 dan Gambar 6 diketahui bahwa *fouling factor* tidak berpengaruh terhadap neraca panas. Hal ini dapat dilihat pada *fouling factor* terkecil pada 2018 sebesar 0,00351 Kw.m<sup>2</sup>.°C dan 2019 sebesar 0,00276 Kw.m<sup>2</sup>.°C. Didapat neraca panas pada 2018 sebesar 523.361.381,48 Kj/jam dan pada *fouling factor* terbesar 0,00811 Kw.m<sup>2</sup>.°C didapat neraca sebesar 239.086.132,57 Kj/jam, sedangkan pada februari 2019 didapat neraca panas sebesar 645.614,140.49 Kj/jam dan *fouling factor* terbesar 0,00412 Kw.m<sup>2</sup>.°C di dapat 470.191.470,23 Kj/jam.

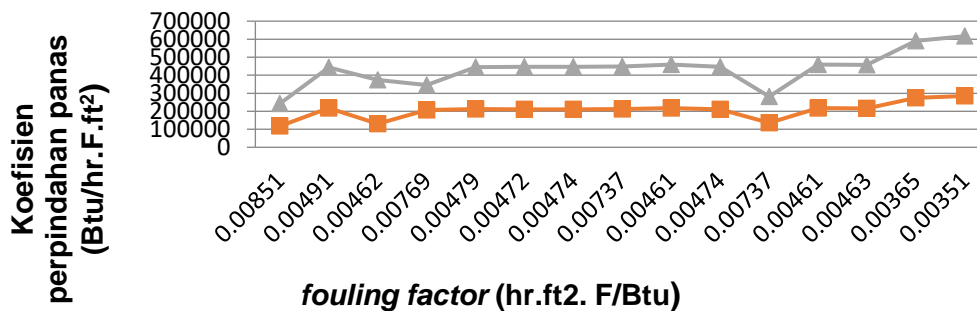
Neraca panas merupakan suatu hukum keseimbangan panas, dimana panas yang masuk sama dengan panas yang dilepaskan. Faktor yang mempengaruhi turun dan naiknya neraca panas adalah temperatur fluida panas dan fluida dingin yang masuk kedalam kondensor.

### Koefisien Perpindahan Panas Terhadap *Fouling Factor*

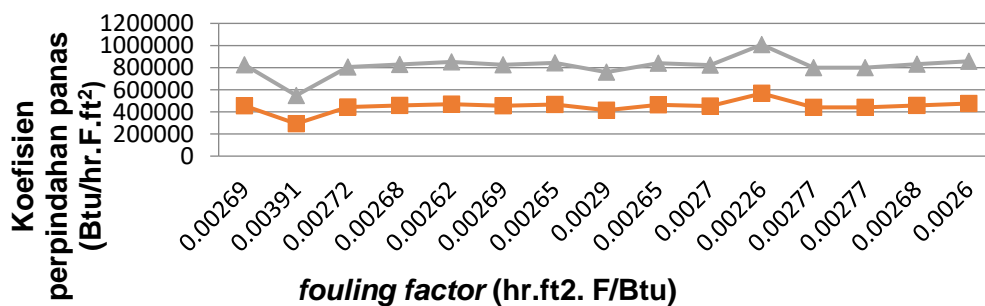
Koefisien perpindahan panas adalah hantaran perpindahan panas dari *heat exchanger* pada sebuah dinding yang mana pada salah satu sisinya terdapat fluida panas dan sisi lainnya terdapat fluida yang lebih dingin. Koefisien perpindahan panas terbagi menjadi koefisien perpindahan panas bersih ( $U_c$ ) yang belum

terdapat endapan atau kotoran, dan koefisien perpindahan panas kotor ( $U_D$ ) setelah dioperasikan dan sesudah terdapat endapan atau kotoran.

Berdasarkan hasil dari perhitungan, didapat rata-rata koefisien perpindahan panas bersih ( $U_c$ ) pada September 2018 sebesar 217.740,31 Kj/jam dan koefisien perpindahan panas kotor ( $U_D$ ) sebesar 206.345,71 Kj/jam. Sedangkan pada Februari 2019 didapat nilai rata-rata  $U_c$ ) sebesar 473.249,52 Kj/jam dan koefisien panas kotor ( $U_d$ ) sebesar 38666.724,46 Kj/jam. Dari hasil perhitungan tersebut dapat dibuatkan grafik hubungan antara *fouling factor* perhitungan tersebut dapat dibuatkan grafik hubungan antara *fouling factor* terhadap koefisien perpindahan panas.



Gambar 7. Hubungan *Fouling Factor* Terhadap Koefisien Perpindahan Panas 2018



Gambar 8. Hubungan *Fouling Factor* Terhadap Koefisien Perpindahan Panas 2019

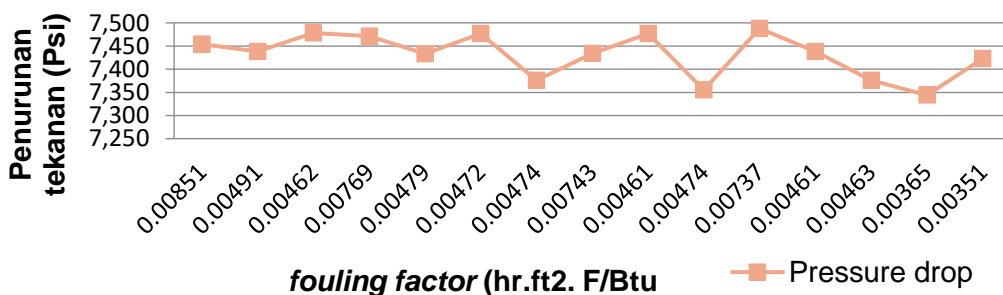
Berdasarkan Gambar 7 dan Gambar 8 dapat dikatakan bahwa *fouling factor* sangat berpengaruh terhadap koefisien perpindahan panas. Hal ini dapat dilihat pada *fouling factor* tertinggi 0,00412 Kw.m<sup>2</sup>.°C di dapat koefisien perpindahan panas kotor ( $U_D$ ) 269.784,11 Kj/hr dan pada *fouling factor* terendah 0,00276 Kw.m<sup>2</sup>.°C didapat koefisien perpindahan panas kotor ( $U_D$ ) 380.950,52 Kj/jam.

Sedangkan data koefisien perpindahan panas pada kondensor September 2018 didapat hasil untuk *fouling factor* tertinggi 0,00897 Kw.m<sup>2</sup>.°C didapat koefisien perpindahan panas kotor ( $U_D$ ) 123.855,11 Kj/jam pada *fouling factor* terendah 0,00370 Kw.m<sup>2</sup>.°C didapat koefisien perpindahan panas kotor 300.286,83 Kj/jam.

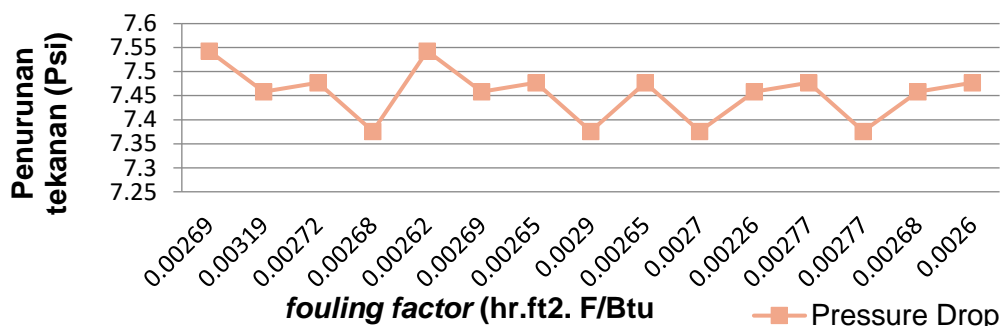
*Fouling factor* berpengaruh terhadap koefisien perpindahan panas di karenakan semakin besar *fouling* pada *tube* maka akan menyebabkan kenaikan tahanan *heat transfer* yang mengakibatkan terhambatnya laju laju perpindahan panas pada *tube* sehingga koefisien perpindahan panas menurun.

**Pressure Drop Terhadap Fouling Factor**

Berdasarkan hasil perhitungan yang didapat, dapat dibuatkan grafik hubungan antara *fouling factor* terhadap *pressure drop*.



Gambar 9. Grafik Hubungan *Fouling Factor* Terhadap *Pressure* 2018



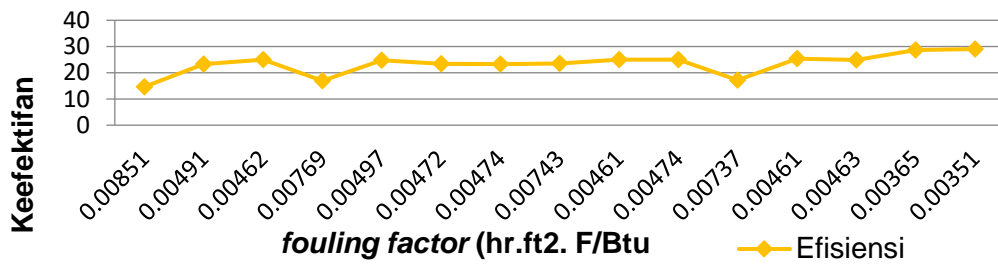
Gambar 10. Grafik Hubungan *Fouling Factor* Terhadap *Pressure Drop* 2019

Berdasarkan Gambar 9 dan Gambar 10, *pressure drop* untuk September 2018 dan Februari 2019 diketahui pada *fouling factor* terkecil 0,00238 Kw.m<sup>2</sup>.°C didapat *pressure drop* sebesar 514,21 Bar dan pada *fouling factor* terbesar 0,00412 Kw.m<sup>2</sup>.°C didapat *pressure drop* sebesar 515,52 Bar. Sedangkan untuk 2018 diketahui pada *fouling factor* terkecil 0,00370 Kw.m<sup>2</sup>.°C. Didapat *pressure drop* 511,79 Bar, dan pada *fouling factor* terbesar 0,00811 Kw.m<sup>2</sup>.°C didapat *pressure drop* sebesar 515,10 Bar. Dari Gambar 7 diketahui bahwa *fouling factor* tidak berpengaruh terhadap *pressure drop* tahun 2018 dan 2019.

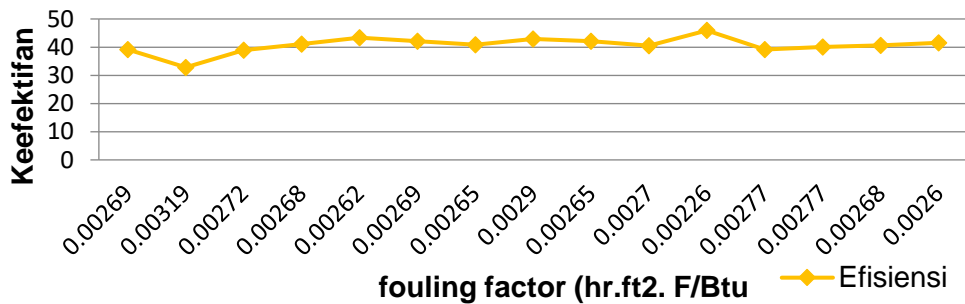
*Pressure drop* di pengaruhi beberapa factor lainnya yaitu kecepatan aliran massa fluida melalui tube, panjang *tube*, jumlah *pass* dan kebersihan air pendingin yang masuk kedalam kondensor (Budiman, 2012)

**Analisis Fouling Factor Terhadap Efisiensi Kondensor**

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan maka selanjutnya dibuat grafik hubungan *fouling factor* terhadap efisiensi.



Gambar 11. Grafik Hubungan *Fouling Factor* Terhadap 2018



Gambar 12. Grafik Hubungan *Fouling Factor* Terhadap Efisiensi 2019

Berdasarkan Gambar 11 dan Gambar 12 diketahui bahwa hasil yang didapat pada *fouling factor* terkecil 0,00238 Kw.m<sup>2</sup>.°C didapat Keefektifan sebesar 45,921 dan *fouling factor* terbesar 0,00412 Kw.m<sup>2</sup>.°C didapat Efektivitas sebesar 32,835. Sedangkan untuk bulan September 2018 diketahui bahwa hasil yang didapat pada *fouling factor* terkecil 0,00370 Kw.m<sup>2</sup>.°C didapat Efektivitas 29,037 dan *fouling factor* terbesar 0,00897 Kw.m<sup>2</sup>.°C didapat Efektivitas 14,647.

Dari Gambar 11 dan Gambar 12 diketahui bahwa pada tahun 2018 terjadi penurunan efektivitas pada kondensor dan setelah dilakukan *maintenance* pada tahun 2019 terjadi kenaikan efektivitas, disini terlihat bahwa *maintenance* memberikan pengaruh besar terhadap efektivitas kondensor.

Hal ini di pengaruhi oleh kebersihan *tube*, *back pressure* kondensor, laju aliran pendingin dan faktor perawatan kondensor (Budiman, 2012).

## KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

1. Hubungan antara neraca panas, koefisien perpindahan panas, Dan *pressure drop* dengan *fouling factor* sebagai berikut:
  - a. *Fouling factor* tidak berpengaruh terhadap neraca panas.
  - b. *Fouling factor* tidak berpengaruh terhadap koefisien perpindahan panas.
  - c. *Fouling factor* tidak berpengaruh terhadap *pressure drop*.
2. Kinerja *Condenser* dari kondisi awal beroperasi pada tahun 2000 sampai sekarang mengalami penurunan yang cukup signifikan, awal beroperasi didapat hasil efektivitas sebesar 85,00. Sedangkan pada tahun 2018 didapat hasil 23,330 tingkat efektivitas yang sangat rendah dari standar kondensor, namun setelah dilakukan *maintenance* pada bulan Oktober 2018 dan dilakukan analisis kembali pada Februari 2019 terjadi peningkatan

efektivitas sebesar 40,743. Maka dari hasil perhitungan sebelum *maintenance* dan sesudah *maintenance* didapat selisih hasil efektivitas sebesar 17,413.

#### **REFERENSI**

- Budiman, Abdi. 2012. *Analisis Efektivitas Codenser PT. PLN (Persero) Sektor Asam-asam*. Banjarbaru
- Busthami, A.Y, 2012. *Analisis Pengaruh Temperatur Inlet Cooling Water Terhadap Back Pressure Condenser Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap Di PT. Indocement Tunggul Prakarsa, Tbk. Tarjun*. Banjarbaru
- Firmansyah, E. 2006. *Analisis Koefisien Perpindahan panas Pipa Konsentrik*. Jakarta
- Holman. J.P. 1997. *Perpindahan Kalor*. Erlangga. Jakarta
- Kern, D. Q. 1965. *Pocces Heat Transfer*. McGraw-Hill Book Company.