

## **ANALISIS PERPINDAHAN PANAS PADA KONDENSOR DENGAN KAPASITAS AIR PENDINGIN 35860 m<sup>3</sup>/JAM**

### ***ANALYSIS OF HEAT TRANSFER IN CONDENSER WITH COOLING WATER CAPACITY OF 35860 m<sup>3</sup>/H***

**Tiara Fadillah Alfani, Abdul Razak, Desi Rismawati\***

\*Jurusan Teknik Mesin, Program Studi Teknik Konversi Energi, Politeknik Negeri Medan

Jl. Almamater No.1, Padang Bulan, Kec. Medan Baru, Kota Medan, Sumatera Utara 20155

Email korespondensi: desirismawati@students.polmed.ac.id

---

#### **ABSTRAK**

Analisis perpindahan panas pada kondensor bertujuan untuk mengetahui laju perpindahan panas (Q) dan efektifitas ( $\epsilon$ ) kondensor di perusahaan tersebut. Karena kondensor merupakan komponen utama pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) maka kondisi kondensor sangat mempengaruhi produksi Pembangkit tersebut. Analisis ini menggunakan metode *Log Mean Temperature Difference* (LMTD) dan efektifitas dengan pengambilan data secara langsung. Untuk tipe kondensor yang digunakan pada PLTU Pangkalan Susu ialah *surface condenser* dengan tipe *exchanger shell and tube*. Berdasarkan hasil perhitungan, didapat laju perpindahan panas (Q) sebesar 195971.540 kW dan efektifitas kondensor 97,45 % yang menunjukkan bahwa kondisi kondensor di PLTU Pangkalan Susu masih optimal.

Kata kunci: Kondensor, efektifitas, perpindahan panas, LMTD.

#### **ABSTRACT**

*The aim of analysis of heat transfer in the condenser is to determine the heat transfer rate (Q) and the effectiveness ( $\epsilon$ ) of the condenser in the company. The condenser in a Steam Power Plant (PLTU) is the main component therefore, the condenser condition greatly affects the production of the plant. This analysis uses the Log Mean Temperature Difference (LMTD) method and its effectiveness is by direct data collection. The type of condenser used in PLTU Pangkalan Susu is a surface condenser with a shell and tube exchanger. Based on the calculation results, the heat transfer rate (Q) is 195971.540 kW and the condenser effectiveness is 97.45%, which indicates that the condenser conditions in the Pangkalan Susu PLTU are optimal.*

*Key words: condenser, effectiveness, heat transfer, Log mean temperature difference.*

#### **PENDAHULUAN**

Kebutuhan tenaga listrik di Indonesia semakin meningkat sejalan dengan perkembangan industri di Indonesia, dengan begitu penyediaan kebutuhan listrik semakin bertambah. Saat ini Indonesia melaksanakan program 35000 MW sebagai rencana pembangunan infrastruktur kelistrikan yang *multi years*. Kapasitas pembangkit listrik nasional (PLN dan non PLN) pada tahun 2019 mencapai 69,5 GW, dengan pangsa terbesar Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) batubara yang mencapai 49,9% (34,7 GW), sedangkan pembangkit listrik tenaga gas (PLTG) mencapai 28,6% (19,9 GW) dan kapasitas pembangkit listrik berbasis energi baru dan terbarukan sebesar 14,8% (10,3 GW), serta pembangkit listrik tenaga diesel (PLTD)

sebesar 6,7 % (4,6 GW) (Rida Mulyani, 2020). Berdasarkan data, PLTU batubara merupakan penyedia energi listrik yang terbesar di antara pembangkit tenaga listrik lainnya. Proses konversi energi pada PLTU berawal dari energi kimia dari bahan bakar di konversikan menjadi energi panas yang dapat memanaskan air sehingga menjadi uap yang memiliki tekanan dan temperatur tinggi, selanjutnya energi panas (uap) tersebut di konversikan menjadi energi mekanik (putaran) dan kemudian energi mekanik (putaran) di konversikan menjadi energi listrik yang dapat dikonsumsi oleh konsumen. Proses tersebut terjadi di boiler, turbin, generator, dan kondensor yang merupakan komponen utama pada sistem PLTU sehingga jika terjadi masalah maka akan mengakibatkan menurunnya efisiensi pembangkit. Kondensor adalah salah satu jenis pesawat penukar kalor yang berfungsi mengkondensasikan uap bekas dari turbin, yaitu air laut menjadi air kondensat dengan bantuan air pendingin utama. Jenis kondensor yang digunakan pada PLTU PT PLN (Persero) UPK Pangkalan Susu Unit 4 adalah *surface condenser* seperti yang terdapat pada Gambar 1 sebagai berikut:



Gambar 1. Kondensor *Surface* Unit 4  
(PLTU PT PLN (Persero) UPK Pangkalan Susu Unit 4)

## METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dengan cara menghitung perpindahan panas pada kondensor sebagai berikut:

### Beda-Temperatur Rata-Rata Log (LMTD)

Beda-temperatur ini disebut beda-temperatur rata-rata log (*Log mean temperature difference*). Dengan kata lain, ialah beda-temperatur pada satu ujung penukar-kalor dikurangi beda temperatur pada ujung yang satu lagi dibagi dengan logaritma alamiah daripada perbandingan kedua beda-temperatur tersebut (Holman, J. P, 2018). Untuk aliran searah maka rumus yang digunakan ialah pada persamaan 1 sebagai berikut (Anang F., 2013):

$$\Delta T_m = \frac{(Th_2 - Tc_2) - (Th_1 - Tc_1)}{\ln \frac{(Th_2 - Tc_2)}{(Th_1 - Tc_1)}} \quad (1)$$

Untuk aliran berlawanan maka rumus yang digunakan ialah pada persamaan 2 sebagai berikut:

$$\Delta T_m = \frac{(Th_1 - Tc_1) - (Th_2 - Tc_2)}{\ln \frac{(Th_1 - Tc_1)}{(Th_2 - Tc_2)}} \quad (2)$$

Dimana:

Th<sub>1</sub> = Fluida panas masuk

Th<sub>2</sub> = Fluida panas keluar

Tc<sub>1</sub> = Fluida dingin keluar

$T_{c2}$  = Fluida dingin masuk

### Metode NTU-Efektifitas Untuk Menganalisis Perpindahan Panas Alat Penukar Kalor

Metode NTU-Efektifitas merupakan metode yang berdasarkan atas efektifitas penukar panas dalam memindahkan sejumlah panas tertentu. Metode NTU-Efektifitas juga mempunyai beberapa keuntungan untuk menganalisis soal-soal dimana harus dibandingkan berbagai jenis penukar panas guna memilih jenis yang terbaik untuk melaksanakan sesuatu tugas pemindahan panas tertentu (Holman, J. P, 2018; Ary B. K., 2004). Efektifitas penukar panas didefinisikan didalam persamaan 3 sebagai berikut:

$$\epsilon = \frac{\text{Perpindahan kalor nyata}}{\text{Perpindahan kalor maksimum yang mungkin}} = \frac{Q}{Q_{maks}} \quad (3)$$

Untuk menentukan perpindahan kalor maksimum bagi penukar kalor itu, pertama-tama kita harus memahami bahwa nilai maksimum akan didapat bila salah satu fluida mengalami perubahan temperatur sebesar beda temperatur maksimum yang terdapat dalam penukar kalor itu, yaitu selisih antara temperatur masuk fluida panas dan fluida dingin. Fluida yang mungkin mengalami beda temperatur maksimum ini ialah yang nilai  $\dot{m}c$  nya minimum, karena neraca energi mensyaratkan bahwa energi yang diterima oleh fluida yang satu mesti sama dengan energi yang dilepas oleh fluida yang satu lagi. Jika fluida yang mempunyai nilai  $\dot{m}c$  yang lebih besar yang kita buat mengalami beda temperatur maksimum, maka tentu fluida yang satu lagi akan harus mengalami perubahan temperatur yang lebih besar dari maksimum, dan ini tentu saja tidak mungkin (Holman, J. P, 2018). Jadi perpindahan kalor maksimum yang mungkin dinyatakan terdapat pada persamaan 4 sebagai berikut:

$$Q_{maks} = (\dot{m}c)_{\min} (T_{h_{masuk}} - T_{c_{masuk}}) \quad (4)$$

Dimana:

$\dot{m}c$  = Laju aliran massa fluida dingin (kg/s)

$C_h$  = Panas spesifik fluida panas (kJ/kg°C)

Fluida minimum boleh yang panas dan boleh yang dingin, bergantung dari laju aliran massa dan kalor spesifik. Untuk penukar kalor aliran sejajar, maka rumus yang digunakan ialah pada persamaan 5 atau 6 sebagai berikut:

$$\epsilon_h = \frac{\dot{m}_h C_h (T_{h1} - T_{h2})}{\dot{m}_h C_h (T_{h1} - T_{c1})} = \frac{T_{h1} - T_{h2}}{T_{h1} - T_{c1}} \quad (5)$$

$$\epsilon_c = \frac{\dot{m}_c C_c (T_{c1} - T_{c2})}{\dot{m}_c C_c (T_{h1} - T_{c1})} = \frac{T_{c1} - T_{c2}}{T_{h1} - T_{c1}} \quad (6)$$

Subskrip dalam lambang efektifitas menunjukkan fluida yang mempunyai nilai  $\dot{m}c$  yang minimum. Untuk penukar kalor aliran lawan arah, maka rumus yang digunakan ialah pada persamaan 7 atau 8 sebagai berikut:

$$\epsilon_h = \frac{\dot{m}_h C_h (T_{h1} - T_{h2})}{\dot{m}_h C_h (T_{h1} - T_{c1})} = \frac{T_{h1} - T_{h2}}{T_{h1} - T_{c2}} \quad (7)$$

$$\epsilon_c = \frac{\dot{m}_c C_c (T_{c1} - T_{c2})}{\dot{m}_c C_c (T_{h1} - T_{c1})} = \frac{T_{c1} - T_{c2}}{T_{h1} - T_{c2}} \quad (8)$$

Secara umum efektifitas dapat dinyatakan kedalam persamaan 9 yaitu sebagai berikut:

$$\epsilon = \frac{\Delta T \text{ (fluida minimum)}}{\text{Beda suhu maksimum didalam penukar kalor}} \quad (9)$$

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Data Kondensor Pada PLTU Pangkalan Susu Unit 4

Data Spesifikasi

Berikut ini tabel data spesifikasi kondensor di unit 4 PLTU Pangkalan Susu, yang terdapat pada Tabel 1.

Tabel 1. merupakan data spesifikasi kondensor di unit 4 PLTU Pangkalan susu

Spesifikasi Kondensor	
<i>Condenser model</i>	N-11421
<i>Condenser form</i>	<i>Single-back pressure-shell, double pass, surface condenser</i>
	<b>Shell</b>
Diameter <i>Shell</i> ( $D_s$ )	1600 mm
Jarak antar sekat (B)	480 mm
	<b>Tube</b>
Panjang Pipa (L)	8440 mm
Diameter dalam pipa ( $d_i$ )	24 mm
Diameter luar pipa ( $d_o$ )	25 mm
<i>Material of cooling pipe</i>	ASTMB-338Gr. 1 titanium <i>tube</i>
<i>Pitch Tube</i> (Pt)	50 mm
Kelonggaran antar tabung (C)	25 mm
Kapasitas air pendingin (Q)	35860 m <sup>3</sup> /jam
Jumlah <i>tube</i> kondensor (N)	17316 <i>pieces</i>

Tabel 2. Data aktual kondensor (pada tanggal 01 juni 2020 pukul 00.00 WIB sampai 22.00 WIB)

Data Aktual	
Jenis Temperatur	Rata – rata
Temperatur uap masuk ( $T_{hi}$ )	47,3 °C
Temperatur uap keluar ( $T_{ho}$ )	43,7 °C
Temperatur air masuk ( $T_{ci}$ )	31,6 °C
Temperatur air keluar ( $T_{co}$ )	46,9°C

### Analisis Data

Dengan menggunakan data-data yang telah tersedia di atas, maka dapat dilakukan perhitungan perpindahan panas pada kondensor unit 4 sebagai berikut:

#### a. Pipa (*Tube*)

##### 1) Menentukan sifat-sifat fluida (air)

Persamaan yang digunakan terdapat pada pendahuluan di persamaan 3, sehingga diperoleh analisis sebagai berikut:

$$T_c = \frac{T_{ci} + T_{co}}{2}$$

$$T_c = \frac{31,6\text{ }^\circ\text{C} + 46,9\text{ }^\circ\text{C}}{2}$$

$$T_c = 39,25\text{ }^\circ\text{C}$$

Dari temperatur tersebut, didapat temperatur rata-rata air = 39,25 °C (Holman, J. P, 2018) dapat ditentukan sifat-sifat fluida (air) dan selanjutnya dilakukan interpolasi antara temperatur 37,78°C dengan temperatur 43,33°C, diperoleh:

$$C_p = 4,174\text{ kJ/kg}\cdot^\circ\text{C}$$

$$\begin{aligned}\rho &= 992,37 \text{ kg/m}^3 \\ \mu &= 6,6484 \times 10^{-4} \text{ kg/m.s} \\ k &= 0,63182 \text{ W/m.}^\circ\text{C} \\ Pr &= 4,4026\end{aligned}$$

2) **Menentukan luas daerah aliran pada tube ( $A_t$ )**

Dikarenakan bentuk *tube* dianggap lingkaran, maka persamaan untuk menentukan luas daerah aliran *tube* maka diperoleh:

$$\begin{aligned}A_t &= \frac{N \times \pi \times d_i^2}{4} \\ A_t &= \frac{17316 \times (3,14) \times (0,024)^2}{4} \\ A_t &= 7,8296 \text{ m}^2\end{aligned}$$

3) **Menentukan laju aliran massa air laut ( $\dot{m}_c$ )**

Untuk menentukan laju aliran massa air laut ( $\dot{m}_c$ ) maka diperoleh:

$$\begin{aligned}(Q) &= 35860 \text{ m}^3/\text{jam} = 9,96 \text{ m}^3/\text{s} \\ \dot{m}_c &= \rho_c \times Q_c \\ \dot{m}_c &= 992,37 \times 9,96 \\ \dot{m}_c &= 9884,0052 \text{ kg/s}\end{aligned}$$

4) **Menentukan kecepatan aliran massa pada tube ( $G_t$ )**

Adapun untuk menentukan kecepatan aliran massa pada *tube* ( $G_t$ ) digunakan persamaan yang terdapat pada pendahuluan yaitu persamaan 4, maka diperoleh analisis data sebagai berikut:

$$\begin{aligned}G_t &= \frac{\dot{m}_c}{A_t} \\ G_t &= \frac{9884,0052}{7,8286} \\ G_t &= 1262,389 \text{ kg/m}^2.\text{s}\end{aligned}$$

5) **Menentukan jenis aliran pada tube**

Adapun untuk menentukan jenis aliran pada *tube* maka diperoleh analisis data sebagai berikut:

$$\begin{aligned}Re_t &= \frac{d_i \times G_t}{\mu} \\ Re_t &= \frac{0,024 \times (1262,389)}{6,6484 \times 10^{-4}} \\ Re_t &= 45570,86818 > 4000 \text{ (Aliran turbulen)}\end{aligned}$$

6) **Menentukan koefisien perpindahan panas pada tube ( $h_i$ )**

Adapun untuk bilangan nusselt, maka diperoleh analisis data sebagai berikut :

$$\begin{aligned}Nu &= 0.023 \times Re^{0,8} \times Pr^n \\ n &= 0,4 \text{ (untuk pemanasan)} \\ Nu &= 0,023 \times (45570,86818)^{0,8} \times (4,4026)^{0,4} \\ Nu &= 221,9020783\end{aligned}$$

Adapun untuk menentukan koefisien perpindahan panas pada *tube* ( $h_i$ ), maka diperoleh analisis data sebagai berikut:

$$\begin{aligned}h_i &= Nu \times \frac{k}{d_i} \\ h_i &= 221,9020783 \times \frac{0,63182}{0,024} \\ h_i &= 5841,75713 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}\end{aligned}$$

## Shell

### 1) Menentukan sifat-sifat fluida (uap)

Temperatur panas untuk fluida (uap) dapat diperoleh sebagai berikut:

$$T_h = \frac{T_{hi} + T_{ho}}{2}$$

$$T_h = \frac{47,3^\circ\text{C} + 43,7^\circ\text{C}}{2}$$

$$T_h = 45,5^\circ\text{C} = 318,5\text{ K}$$

Dari temperatur tersebut, didapat temperatur rata-rata uap = 318,5K diperoleh :

$$C_p = 1,895\text{ kJ/kg.K}$$

$$\mu = 9,89 \times 10^{-6}\text{ N.s/m}^2$$

$$k = 21 \times 10^{-3}\text{ W/m.K}$$

$$Pr = 0,894$$

### 2) Menentukan luas daerah aliran pada shell ( $A_s$ )

Untuk menentukan luas daerah aliran pada shell ( $A_s$ ) diperoleh sebagai berikut:

$$A_s = \frac{D_s \times C \times B}{Pt}$$

$$A_s = \frac{1,6 \times (0,025) \times (0,48)}{0,05}$$

$$A_s = 0,384\text{ m}^2$$

### 3) Menentukan laju aliran massa uap ( $\dot{m}_h$ )

Untuk menentukan laju aliran massa uap ( $\dot{m}_h$ ) maka diperoleh sebagai berikut

$$Q_h = \dot{m}_c \times C_{pc} \times (T_{c_o} - T_{c_i})$$

$$Q_h = 9884,0052 \times (4,174) \times (46,9^\circ\text{C} - 31,6^\circ\text{C})$$

$$Q_h = 631214,3169\text{ kW}$$

Sehingga ,

$$\dot{m}_h = \frac{Q_h}{C_{ph} \times \Delta T_h}$$

$$\dot{m}_h = \frac{631214,3169}{(1,895) \times (3,6)}$$

$$\dot{m}_h = 92526,28509\text{ kg/s}$$

### 4) Menentukan kecepatan aliran massa pada shell ( $G_s$ )

Adapun untuk menentukan kecepatan aliran massa pada shell ( $G_s$ ) maka diperoleh analisis data sebagai berikut:

$$G_s = \frac{\dot{m}_h}{A_s}$$

$$G_s = \frac{92526,28509}{0,384}$$

$$G_s = 240953,8674\text{ kg/m}^2.\text{s}$$

### 5) Menentukan jenis aliran pada shell

Untuk menentukan jenis aliran pada shell sebagai berikut

$$De = \frac{4(Pt^2 - \pi \frac{do^2}{4})}{\pi \times do}$$

$$De = \frac{4(0,05^2 - 3,14 \frac{0,025^2}{4})}{3,14 \times (0,025)}$$

$$De = 0,1023\text{ m}$$

Maka untuk menghitung bilangan reynold diperoleh analisis sebagai berikut:

$$Re_s = \frac{De \times G_s}{\mu}$$

$$Re_s = \frac{0,1023 \times (240953,8674)}{9,89 \times 10^{-6}}$$

$$Re_s = 2492374180 > 4000 \text{ (Aliran turbulen)}$$

6) **Menentukan koefisien perpindahan panas pada shell (ho)**

Adapun untuk bilangan nusselt maka diperoleh analisis data sebagai berikut:

$$Nu = 0,023 \times Re^{0,8} \times Pr^n$$

$$n = 0,3 \text{ (untuk pendinginan)}$$

$$Nu = 0,023 \times (2492374180)^{0,8} \times (0,894)^{0,3}$$

$$Nu = 731845,9712$$

Adapun untuk menentukan koefisien perpindahan panas pada shell (ho) maka diperoleh analisis data sebagai berikut:

$$ho = Nu \frac{k}{De}$$

$$ho = \frac{731845,9712 \times (21 \times 10^{-3})}{0,1023}$$

$$ho = 150232,3108 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

7) **Koefisien Perpindahan Panas Menyeluruh (Ui)**

$$ri = \frac{di}{2} = 0,012 \text{ m}$$

$$ro = \frac{do}{2} = 0,0125 \text{ m}$$

Karena material dari tube adalah titanium, maka :

k = 21,9 W/m.°C (Ridayu, 2015) . Adapun untuk menghitung koefisien perpindahan panas menyeluruh sebagai berikut:

$$Ui = \frac{1}{\frac{1}{hi} \times \frac{ri \times \ln(ro/ri)}{k} + \frac{1}{ho} \times \frac{ri}{ro}}$$

$$Ui = \frac{1}{\frac{1}{5841,75713} \times \frac{0,012 \times \ln(0,0125/0,012)}{21,9} + \frac{1}{150232,3108} \times \frac{0,012}{0,0125}}$$

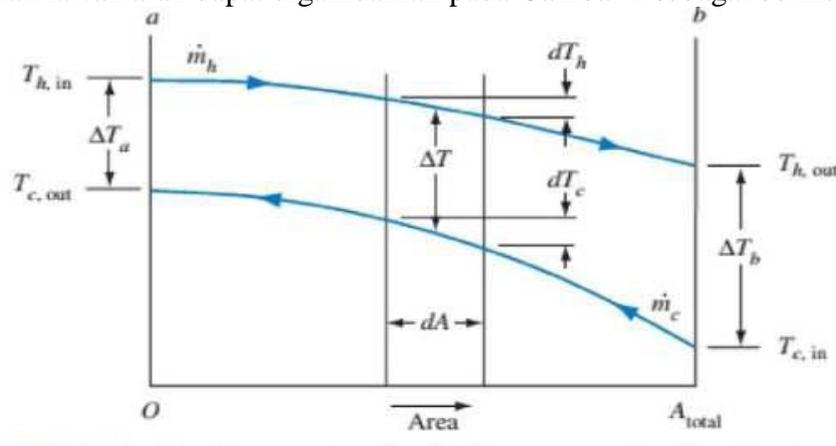
$$Ui = \frac{1}{1,7118 \times (10^{-4}) + 2,237 \times (10^{-5}) + 6,656 \times 10^{-6} \times (0,96)}$$

$$Ui = \frac{1}{1,9993976 \times (10^{-4})}$$

$$Ui = 5001,506454 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

8) **Perhitungan LMTD (Log Mean Temperature Difference)**

Karena kondensor merupakan counter current flow (berlawanan arah). maka perhitungan LMTD aliran lawan arah dapat digambarkan pada Gambar 2 sebagai berikut:



Gambar 2. Perhitungan LMTD aliran lawan arah

Untuk menghitung LMTD aliran lawan arah terdapat pada persamaan 11 pada pendahuluan, sebagai berikut :

$$LMTD = \frac{(T_{hi}-T_{co})-(T_{ho}-T_{ci})}{\ln \frac{(T_{hi}-T_{co})}{(T_{ho}-T_{ci})}}$$

$$LMTD = \frac{(47,3^{\circ}\text{C}-46,9^{\circ}\text{C})-(43,7^{\circ}\text{C}-31,6^{\circ}\text{C})}{\ln \frac{(47,3^{\circ}\text{C}-46,9^{\circ}\text{C})}{(43,7^{\circ}\text{C}-31,6^{\circ}\text{C})}}$$

$$LMTD = \frac{-11,7}{\ln 0,033057851}$$

$$LMTD = 3,431592042^{\circ}\text{C}$$

### 9) Menentukan luas perpindahan panas menyeluruh ( $A_{total}$ )

Untuk menentukan luas perpindahan panas menyeluruh ( $A_{total}$ ) maka diperoleh sebagai berikut

$$A_{total} = N \times \pi \times d_o \times L$$

$$A_{total} = 17316 \times (3,14) \times (0,025 \text{ m}) \times (8,4\text{m})$$

$$A_{total} = 11418,1704 \text{ m}^2$$

### 10) Menentukan jumlah panas (Q)

Untuk menentukan jumlah panas (Q) maka diperoleh sebagai berikut:

$$Q = U_i \times A \times F \times LMTD$$

$$Q = (5001,506454 \text{ W/m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}) \times (11418,1704 \text{ m}^2) \times (1) \times (3,431592042^{\circ}\text{C})$$

$$Q = 195971540 \text{ W} = 195971,540 \text{ kW}$$

### 11) Efektifitas Pada Kondensor ( $\epsilon$ )

Untuk menghitung  $C_c$  fluida dingin (air) maka diperoleh sebagai berikut:

$$C_c = \dot{m}c \times C_{p_{air}}$$

$$C_c = 9884,0052 \text{ kg/s} (4,174 \text{ kJ/kg} \cdot ^{\circ}\text{C})$$

$$C_c = 41255,8377 \text{ kJ/}^{\circ}\text{C} \cdot \text{s}$$

Untuk menghitung  $C_h$  fluida panas (uap) maka diperoleh sebagai berikut:

$$C_h = \dot{m}h \times C_{p_{uap}}$$

$$C_h = 79646,28325 (2,20145)$$

$$C_h = 175337,3103 \text{ kJ/}^{\circ}\text{C} \cdot \text{s}$$

Karena  $C_c < C_h$  maka diperoleh analisis sebagai berikut:

$$\epsilon = \frac{T_{co}-T_{ci}}{T_{hi}-T_{ci}}$$

$$\epsilon = \frac{46,9^{\circ}\text{C} - 31,6^{\circ}\text{C}}{47,3^{\circ}\text{C} - 31,6^{\circ}\text{C}}$$

$$\epsilon = 0,9745$$

$$\epsilon = 97,45 \%$$

Didapatkan nilai laju perpindahan panas (Q) sebesar 195971.540 kW yang artinya sejumlah energi panas sebesar 195971.540 kilo Joule ditransmisikan per tiap detiknya, Dan Efektifitas ( $\epsilon$ ) kondensor sebesar 97.45 %.

## KESIMPULAN

1. Tipe Kondensor yang digunakan PLTU Pangkalan Susu Unit 4 ialah tipe Permukaan (*Surface Condenser*) dengan jenis *heat exchanger* bertipe *shell and tube*. Prinsip kerja dari *surface condenser* ialah uap sisa keluaran LP *Turbine* masuk melewati *steam inlet connection*, yang terletak dibagian atas kondensor menuju sisi-sisi *shell* kondensor. Kemudian uap tersebut bersinggungan dengan *tube-tube* kondensor yang mempunyai temperatur rendah (vakum) sehingga temperatur dan tekanan uap turun, lalu terkondensasi dan menghasilkan air kondensat yang terkumpul di *hotwell*. Media pendingin yang ada pada *tube* ialah air, yang berasal dari laut.

2. Perpindahan panas yang terjadi pada kondensor ialah perpindahan panas secara konduksi, yaitu uap pada *shell* menghantarkan panas menuju *tube-tube* kondensor, dan perpindahan panas secara konveksi paksa, yaitu panas yang mengenai *tube* mengakibatkan air berpindah, dan perpindahannya juga dibantu oleh pompa.
3. Dari hasil perhitungan yang telah dilakukan, didapatkan nilai laju perpindahan panas (Q) sebesar 195971.540 kW yang artinya sejumlah energi panas sebesar 195971.540 kJ ditransmisikan per tiap detiknya. Efektifitas ( $\epsilon$ ) kondensor sebesar 97.45 % hal ini menunjukkan bahwa keadaan kondensor pada PLTU Pangkalan Susu Unit 4 masih optimal.

### UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih atas dukungan yang diberikan oleh Politeknik Negeri Medan (POLMED). Penulis juga mengucapkan terima kasih pada dosen pembimbing Ir. Abdul Razak, M.T., dan kepada Dr. Arridina Susan Silitonga, S.T., M.Eng. yang telah banyak memberikan pelatihan dan bimbingan tentang penulisan jurnal ini.

### REFERENSI

- Anang F., 2013. Pengujian Karakteristik Perpindahan Panas Dan Faktor Gesekan Pada Penukar Kalor Pipa Konsentrik Saluran Persegi Dengan Twisted Tape Insert With Centre Wing, Jurnal Teknik Mesin.Vol. 11 Nomor 1. Institut Teknologi Sepuluh November.
- Atika M. F., 2015, *Analisis Perpindahan Panas pada Kondensor Unit IV PLTU di PT PJB UP Gresik*, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Ary B. K., 2004. Studi Pengaruh Beban Panas Terhadap Karakteristik Perpindahan Panas pada Heat Exchanger Vertikal Chanel. Institut Teknologi Sepuluh November.
- Cengel Y A dan Boles MA, 2007, *Thermodynamics An Engineering Approach, Sixth Edition in SI Units, Singapore* : Mc Graw Hill.
- Holman, J.P., 2018, *Perpindahan Kalor*, Edisi keenam, Erlangga, Jakarta.
- Murdani., Erwin., Yendri, E., Siregar, H., Aliyani, P., Mawardi, M., 2014, *Pengoperasian PLTU*, Edisi 1, PLN Corporate University, Suralaya.
- Tirto.id, 2020, *Kapasitas Listrik Naik 15 GW di Era Pertama Jokowi, 60% Dari PLTU*, <https://www.google.com/amp/s/amp.tirto.id/kapasitas-listrik-naik-15-gw-di-era-pertama-jokowi-60-dari-pltu-ex4j>., diakses 20 Mei 2020.
- Ridayu Pratiwi, 2015, *Analisis Perpindahan Panas pada Kondensor dengan Kapasitas 9.781 m<sup>3</sup>/jam Unit 4 PLTU Sicanang Belawan*, Politeknik Negeri Medan, Medan.
- Suci Larasati, 2016, *Analisis Perpindahan Panas pada Kondensor dengan Kapasitas 37512 m<sup>3</sup>/jam Unit 2 PLTU Pangkalan Susu PT PLN (PERSERO) Sektor Pembangkit Medan*, Politeknik Negeri Medan, Medan.