

Kinerja Kondensor di PLTU PT. XYZ Berdasarkan Metode NTU

Yosia Turnip¹, Muhammas Syafei Gozali¹,

¹Politeknik Negeri Batam, Batam, Indonesia

*Email: syafei@polibatam.ac.id

Abstrak— Pada PLTU PT. XYZ terdapat kondensor tipe *shell and tube* yang berfungsi untuk mengkondensasikan uap dari *exhaust* turbin menjadi air kondensat yang akan digunakan kembali untuk persediaan air umpan bagi boiler. Semakin lama kondensor digunakan, maka proses perpindahan panas dapat terganggu yang mengakibatkan kinerja dari kondensor menjadi tidak optimal, dengan nilai efektivitas kurang dari 80%. Untuk mengetahui kondisi kinerja kondensor dapat dilakukan dengan menghitung efektivitas kondensor berdasarkan metode *Number of Transfer Unit* (NTU). Hasil penelitian yang dilakukan selama bulan Januari 2024, didapat nilai efektivitas kondensor sebesar 99,55%.

Kata Kunci: PLTU, kondensor, LMTD, NTU, efektivitas

Abstract— In PLTU PT XYZ there is a *shell and tube* type condenser that functions to condense steam from the exhaust turbine into condensate water which will be reused for feed water supply for the boiler. The longer the condenser is used, the heat transfer process can be disrupted which results in the performance of the condenser becoming not optimal, with an effectiveness value of less than 80%. To find out the condition of the condenser performance can be done by calculating the effectiveness of the condenser based on the *Number of Transfer Units* (NTU) method. The results of research conducted during January 2024, obtained a condenser effectiveness value of 99.55%.

Keywords: PLTU, condenser, LMTD, NTU, effectiveness

I. PENDAHULUAN

Salah satu komponen utama dari sistem PLTU yang digunakan untuk membangkitkan tenaga listrik adalah kondensor, yang memiliki fungsi untuk mengkondensasikan fluida uap dari *exhaust* turbin menjadi air kondensat melalui proses perpindahan panas menggunakan fluida air dingin dari *Induced Cooling Water* (ICW). Tipe kondensor yang digunakan pada PLTU PT. XYZ yaitu kondensor *shell and tube*. Dalam proses perpindahan panas pada kondensor *shell and tube*, semakin lama kondensor digunakan maka perpindahan panas pada kondensor dapat terganggu, yang dapat menyebabkan kinerja dari kondensor menjadi tidak optimal dalam menjalankan fungsi kondensor. Ketidakefektifan kondensor dapat dilihat dari nilai efektivitas kondensor yang sudah mencapai kurang dari 80% [6]. Sehingga, untuk membuat kinerja dari kondensor menjadi optimal kembali, kondensor harus dilakukan perbaikan atau *overhaul* secepatnya.

Analisis kondisi kinerja kondensor dengan menggunakan nilai laju perpindahan panas berdasarkan metode *Log Mean Temperature Different* (LMTD) dan nilai efektivitas berdasarkan metode *Number of Transfer Unit* (NTU)-*effectiveness*, sebelumnya telah dilakukan oleh beberapa peneliti. Seperti penelitian yang dilakukan oleh Tiara Fadillah Alfani, Abdul Razak, Desi Rismawati dengan judul “Analisis Perpindahan Panas Pada Kondensor dengan Kapasitas Air Pendingin 35.860 m³/jam”. Tipe kondensor yang diteliti adalah kondensor *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 [1].

Penelitian yang dilakukan oleh Didit Sumardiyanto, Aldi Januar dengan judul “Penentuan Nilai Efektivitas Kondensor Di PLTGU Blok 1-2 PT. Indonesia Power UPJP Priok”. Tipe kondensor yang diteliti adalah kondensor *shell and tube*. Pada hasil penelitian, perhitungan nilai efektivitas pada kondensor pertama sebesar 83,28%, kondensor kedua sebesar 84,15% dan kondensor rata-rata sebesar 83,72%. Variabel yang mempengaruhi adalah kapasitas rasio sebesar 0,01183, laju perpindahan kalor panas sebesar 2.046,9932 kW, LMTD sebesar 7,6416°C, jumlah satuan perpindahan sebesar 0,7996, dan tekanan vakum sebesar 0,04395. Sehingga dapat disimpulkan bahwa kondensor yang ada PT. Indonesia Power UPJP Priok masih mempunyai performa yang baik [2].

Penelitian yang dilakukan oleh Aulia Rahmatunnissa, Cintiya Septa Hasannah dengan judul “Analisis Perhitungan Nilai Efektivitas Kinerja Kondensor Pada Proses Penguapan di Pabrik Gula X”. Tipe kondensor yang diteliti adalah kondensor *shell and tube*. Hasil dari metode ini adalah nilai efektivitas sebagai nilai efisiensi kondensor akibat kualitas dari perpindahan panas yang terjadi. Sehingga nilai efektivitas panas dari kinerja kondensor pada stasiun penguapan Pabrik Gula X sebesar 95,775% [3].

Penelitian yang dilakukan oleh Harlan S. F. Egeten, Frans P. Sappu, Benny Maluegha 2014 dengan judul “Efektivitas Penukar Kalor Tipe *Plate* P41 73TK di PLTP Lahendong Unit 2”. Tipe kondensor yang diteliti adalah kondensor tipe *plate* P41 73TK. Perhitungan pada penelitian ini menggunakan rumus-rumus yang sesuai bagi penukar panas tipe *plate* dan dengan mengasumsikan pelat penukar panas yang dianalisa sebagai sebuah tabung/pipa. Dari hasil perhitungan pada penukar panas tipe *plate* maka diperoleh efektivitas berdasarkan metode LMTD didapat 83,3%, efektivitas termal penukar panas

sebesar 55.6% dan efektivitas berdasarkan metode NTU sebesar 30,3% [4].

Penelitian yang dilakukan oleh Septa Fernando Karo Karo, Darianto, dan Muhammad Idris dengan judul "Analisis Efektivitas Perpindahan Panas Kondensator pada Proses Destilasi Daun Serai Wangi". Tipe kondensator yang diteliti adalah kondensator *shell and tube*. Pada hasil Penelitian, perhitungan nilai efektivitas pada kondensator didapatkan sebesar 89%, dan massa uap kondensat 36% yang menjadi *bio oil*. Variabel yang mempengaruhi adalah kapasitas rasio sebesar 0,0182840, laju perpindahan panas sebesar 186544,68 W. Dan LMTD sebesar 29,74 °C. Sehingga dapat disimpulkan bahwa kondensator yang ada pada proses destilasi daun serai wangi masih mempunyai peforma yang baik [5].

Dari penjabaran masalah yang muncul, serta solusi yang telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya. Maka penelitian ini yang berjudul "Kinerja Kondensator di PLTU PT. XYZ Berdasarkan NTU" bertujuan untuk mendapatkan nilai efektivitas kondensator di PLTU PT. XYZ Menggunakan metode *Number of Transfer Unit* (NTU), serta memberikan manfaat untuk mengetahui kondisi kinerja kondensator melalui nilai efektivitas kondensator.

II. METODE

Flowchart penelitian pada gambar 1 bertujuan untuk menunjukkan langkah-langkah dalam menjawab permasalahan dalam penelitian, yaitu:

A. Pengumpulan Data Kondensator *Shell and Tube*

Data yang dikumpulkan untuk menganalisis kondisi kinerja kondensator adalah data spesifikasi kondensator dan data operasional kondensator. Data spesifikasi kondensator diambil dari *manual book* kondensator. Hasil pengumpulan data dapat dilihat pada tabel 1.

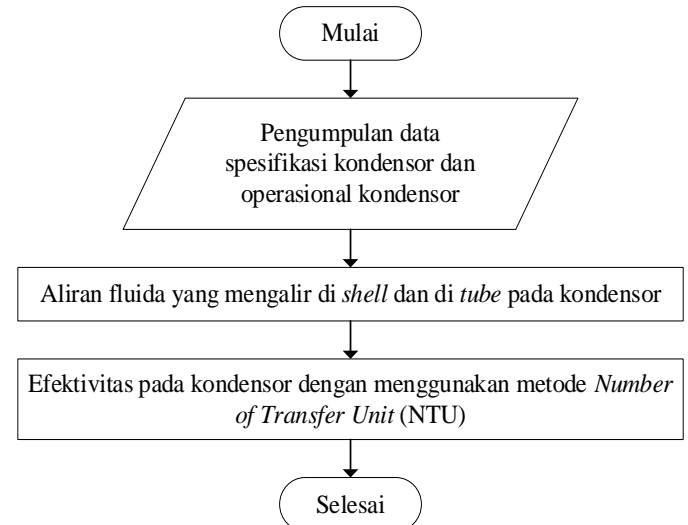
Data operasional kondensator diambil dari *logsheet* selama bulan Januari (1-31 Januari 2024), tepatnya setiap empat jam beroperasi. Sehingga dalam sehari total data adalah 186 data. Data operasional yang diambil berupa laju aliran fluida uap dan temperatur fluida uap dan temperatur fluida air dingin. Hasil pengumpulan data operasional kondensator disajikan pada grafik laju aliran fluida uap gambar 2 dan grafik Temperatur Fluida Uap dan fluida air dingin gambar 3.

TABLE 1
Data Spesifikasi Kondensator

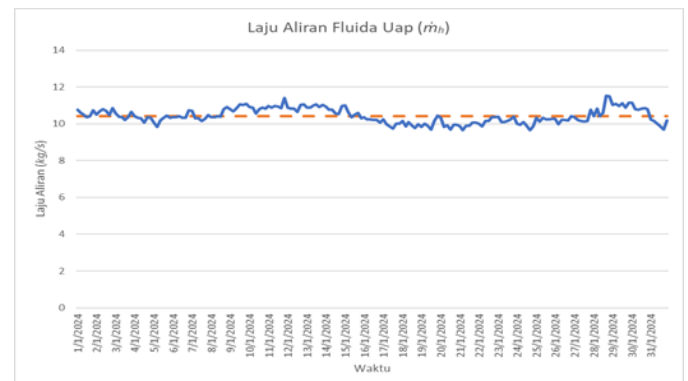
Spesifikasi kondensator	Nilai
Luas permukaan kondensator (A)	1.400 m^2
Diameter <i>shell</i> (D_s)	2,6 m
Kelonggaran antar <i>Tube</i> (C)	0,02 m
Jarak antar sekat (B)	5,8 m
<i>Pitch tube</i> (P_t)	0,04 m
Diameter dalam <i>tube</i> (D_i)	0,019 m
Diameter luar <i>tube</i> (D_o)	0,02 m
Konduktivitas termal dari bahan <i>tube</i>	$16,3 \frac{W}{m \cdot ^\circ C}$
0Cr18Ni9 (K_t)	
Jumlah <i>tube</i> (N)	3.842 <i>pieces</i>
Debit aliran fluida air dingin (q_c)	$1,167 \frac{m^3}{s}$

Pada grafik gambar 2, memiliki nilai rata-rata selama satu bulan $10,43 \frac{kg}{s}$.

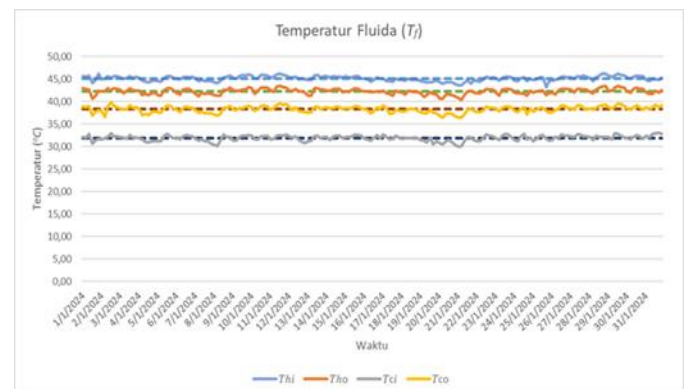
Data temperatur fluida yang tersaji pada grafik gambar 3 terdiri dari: a. temperatur fluida uap yang masuk kondensator (T_{hi}) memiliki nilai rata-rata selama satu bulan $45,10^\circ C$; b. temperatur fluida uap yang keluar kondensator (T_{ho}) memiliki nilai rata-rata selama satu bulan $42,23^\circ C$; c. temperatur fluida air dingin yang masuk kondensator (T_{ci}) dengan memiliki nilai rata-rata selama satu bulan $31,88^\circ C$; d. temperatur fluida air dingin yang keluar kondensator (T_{co}) memiliki nilai rata-rata selama satu bulan $38,27^\circ C$.



Gambar 1 *Flowchart* Penelitian



Gambar 2 Grafik Data Laju Aliran Fluida Uap



Gambar 3 Grafik Data Temperatur Fluida

B. Aliran Fluida Yang Mengalir di Shell dan di Tube Pada Kondensor

Langkah-langkah untuk mendapatkan nilai aliran fluida yang mengalir di dalam *shell* dan *tube* kondensor yaitu:

1. Menentukan nilai rata-rata temperatur fluida dengan menggunakan persamaan (1) [1], [7], [9]:

$$T_{fm} = \frac{T_{fi} + T_{fo}}{2} \quad (1)$$

Keterangan:

T_{fm} = rata-rata temperatur fluida (°C)

T_{fi} = temperatur fluida yang masuk kondensor (°C)

T_{fo} = temperatur fluida yang keluar kondensor (°C)

2. Menentukan nilai rata-rata temperatur fluida dengan menggunakan persamaan (1) [1], [7], [9]:

$$T_{fm} = \frac{T_{fi} + T_{fo}}{2} \quad (1)$$

Keterangan:

T_{fm} = rata-rata temperatur fluida (°C)

T_{fi} = temperatur fluida yang masuk kondensor (°C)

T_{fo} = temperatur fluida yang keluar kondensor (°C)

3. Nilai dari rata-rata temperatur fluida dapat digunakan untuk menentukan nilai sifat aliran fluida yang ada di tabel sifat aliran fluida berdasarkan temperatur fluida [7]. Jika nilai rata-rata temperatur uap dan air dingin tidak sesuai atau berada diantara temperatur yang sudah ada di tabel sifat aliran fluida, maka untuk menentukan nilai sifat aliran fluida yang sesuai dengan nilai rata-rata temperatur fluida dapat dihitung dengan menggunakan persamaan interpolasi sesuai pada persamaan (2) [1], [7], [9].

$$S_f = \frac{S_f \text{ atas} - S_f \text{ bawah}}{T_{fm} \text{ atas} - T_{fm} \text{ bawah}} (T_{fm} - T_{fm} \text{ bawah}) + S_f \text{ bawah} \quad (2)$$

Keterangan:

S_f = sifat fluida yang ditanya

$S_f \text{ atas}$ = nilai titik atas sifat fluida

$S_f \text{ bawah}$ = nilai titik bawah sifat fluida

T_{fm} = rata-rata temperatur fluida (°C)

$T_{fm} \text{ atas}$ = nilai titik atas temperatur fluida (°C)

$T_{fm} \text{ bawah}$ = nilai titik bawah temperatur fluida (°C)

4. Menentukan nilai laju aliran air dingin dengan menggunakan persamaan (3) [1-3, 5-10]:

$$\dot{m}_c = \rho_c \times q_c \quad (3)$$

Keterangan:

\dot{m}_c = laju aliran air dingin ($\frac{kg}{s}$)

ρ_c = masa jenis aliran air dingin ($\frac{kg}{m^3}$)

q_c = debit aliran air dingin ($\frac{m^3}{s}$)

5. Menentukan nilai luas daerah aliran uap di *shell* dengan menggunakan persamaan (4) dan menentukan nilai luas daerah aliran air dingin di *tube* dengan menggunakan persamaan (5) [1-3, 5-10]:

$$A_s = \frac{D_s \times C \times B}{P_t} \quad (4)$$

$$A_t = \frac{N \times \pi \times D_i^2}{4} \quad (5)$$

Keterangan:

A_s = luas daerah aliran uap di *shell* (m^2)

D_s = diameter *shell* (m)

C = kelonggaran antar *tube* (m)

B = jarak antar sekat (m)

P_t = *pitch tube* (m)

A_t = luas daerah aliran air dingin di *tube* (m^2)

N = jumlah *tube*

π = phi (3,14 atau $\frac{22}{7}$)

D_i = diameter dalam *tube* (m)

6. Menentukan nilai kecepatan aliran uap di *shell* dengan menggunakan persamaan (6) dan menentukan nilai kecepatan aliran air dingin di *tube* dengan menggunakan persamaan (7) [1-3, 5-10]:

$$G_s = \frac{\dot{m}_h}{A_s} \quad (6)$$

$$G_t = \frac{\dot{m}_c}{A_t} \quad (7)$$

Keterangan:

G_s = kecepatan aliran uap di *shell* ($\frac{kg}{m^2 \cdot s}$)

\dot{m}_h = laju aliran uap di *shell* ($\frac{kg}{s}$)

A_s = luas daerah uap di *shell* (m^2)

G_t = kecepatan air dingin di *tube* ($\frac{kg}{m^2 \cdot s}$)

\dot{m}_c = laju aliran air dingin di *tube* ($\frac{kg}{s}$)

A_t = luas daerah aliran air dingin di *tube* (m^2)

7. Menentukan nilai diameter ekuivalen pada *shell* dengan menggunakan persamaan (8) [1, 6-10]:

$$D_e = \frac{4(P_t^2 - \pi \frac{D_o^2}{4})}{\pi \times D_o} \quad (8)$$

Keterangan:

D_e = diameter ekuivalen (m)

P_t = *pitch tube* (m)

D_o = diameter luar *tube* (m)

π = phi (3,14 atau $\frac{22}{7}$)

8. Menentukan nilai bilangan *Reynold* di *shell* dengan menggunakan persamaan (9) dan menentukan nilai bilangan *Reynold* di *tube* dengan menggunakan persamaan (10) [1-10]:

$$Re_s = \frac{D_e \times G_s}{\mu_h} \quad (9)$$

$$Re_t = \frac{D_i \times G_t}{\mu_c} \quad (10)$$

Keterangan:

Re_s = bilangan *Reynold* di *shell*

D_e = dimensi ekuivalen (m)

G_s = kecepatan aliran uap di *shell* ($\frac{kg}{m^2 \cdot s}$)

μ_h = viskositas uap ($\frac{kg}{m \cdot s}$)

Re_t = bilangan *Reynold* di *tube*

D_i = diameter dalam *tube* (m)

G_t = kecepatan aliran air dingin di *tube* ($\frac{kg}{m^2 \cdot s}$)

μ_c = viskositas air dingin ($\frac{kg}{m \cdot s}$)

Jika hasil perhitungan bilangan *Reynold* < 2.300 , maka tipe aliran yang terjadi di *shell* dan *tube* kondensor ialah aliran laminar. Jika hasil bilangan *Reynold* $2.300 < Re < 4.000$, maka tipe aliran yang terjadi di *shell* dan *tube* kondensor ialah

aliran transisi menuju aliran turbulen. Dan jika hasil bilangan *Reynold* > 4.000 , maka tipe aliran yang terjadi di *shell* dan *tube* kondensator ialah aliran turbulen [1-10].

9. Setelah mengetahui jenis aliran yang terjadi di *shell* dan di *tube* pada kondensator, langkah selanjutnya ialah menentukan nilai dari bilangan *Nusselt* di *shell* dan di *tube* pada kondensator. Untuk jenis aliran laminar yang terjadi di *shell* dan di *tube* pada kondensator, dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (11) dan (12). Sedangkan untuk jenis aliran transisi dan turbulen yang terjadi di *shell* dan di *tube* pada kondensator, dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (13) dan (14). [6-10]:

$$Nu_{s \text{ lam}} = 0,332 \times Re_s^{0,5} \times Pr_h^n \quad (11)$$

$$Nu_{t \text{ lam}} = 0,332 \times Re_t^{0,5} \times Pr_c^n \quad (12)$$

$$Nu_{s \text{ turb}} = 0,023 \times Re_s^{0,8} \times Pr_h^n \quad (13)$$

$$Nu_{t \text{ turb}} = 0,023 \times Re_t^{0,8} \times Pr_c^n \quad (14)$$

Keterangan:

0,332 dan 0,5 = tetapan nilai aliran laminar

$Nu_{s \text{ lam}}$ = bilangan *Nusselt* untuk aliran laminar yang terjadi di *shell*

Re_s = bilangan *Reynold* di *shell*

Pr_h = bilangan *Prandtl* uap

$n = 0,3$ tetapan nilai proses pendinginan di *shell*

$Nu_{t \text{ lam}}$ = bilangan *Nusselt* untuk aliran laminar yang terjadi di *tube*

Re_t = bilangan *Reynold* di *tube*

Pr_c = bilangan *Prandtl* air dingin

$n = 0,4$ tetapan nilai proses pemanasan di *tube*

0,023 dan 0,8 = tetapan nilai aliran transisi dan turbulen

$Nu_{s \text{ turb}}$ = bilangan *Nusselt* untuk aliran turbulen yang terjadi di *shell*

Re_s = bilangan *Reynold* di *shell*

Pr_h = bilangan *Prandtl* uap

$n = 0,3$ tetapan nilai proses pendinginan di *shell*

$Nu_{t \text{ turb}}$ = bilangan *Nusselt* untuk turbulen yang terjadi di *tube*

Re_t = bilangan *Reynold* di *tube*

Pr_c = bilangan *Prandtl* air dingin

$n = 0,4$ tetapan nilai proses pemanasan di *tube*

C. Efektivitas Pada Kondensator dengan Menggunakan Metode *Number of Unit Transfer* (NTU)

Langkah-langkah untuk mendapatkan nilai efektivitas pada kondensator dengan menggunakan metode NTU yaitu:

1. Menentukan nilai koefisien perpindahan panas di *shell* dengan menggunakan persamaan (15) dan menentukan nilai koefisien perpindahan panas di *tube* dengan menggunakan persamaan (16) [6-10]:

$$h_s = \frac{Nu_s \times K_h}{D_e} \quad (15)$$

$$h_t = \frac{Nu_t \times K_c}{D_i} \quad (16)$$

Keterangan:

h_s = koefisien perpindahan panas di *shell* ($\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$)

Nu_s = bilangan *Nusselt* di *shell*

K_h = konduktivitas termal uap ($\frac{W}{m \cdot ^\circ C}$)

D_e = diameter ekuivalen (m)

h_t = koefisien perpindahan panas di *tube* ($\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$)

Nu_t = bilangan *Nusselt* di *tube*

K_c = konduktivitas termal air dingin ($\frac{W}{m \cdot ^\circ C}$)

D_i = diameter dalam *tube* (m)

2. Menentukan nilai koefisien perpindahan panas menyeluruh dengan menggunakan persamaan (2.17) [1-2, 5-10]:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_t} \times \frac{r_i \times \ln(r_o/r_i)}{K_t} + \frac{1}{h_s} \times \frac{r_i}{r_o}} \quad (17)$$

Keterangan:

U = Koefisien perpindahan panas menyeluruh ($\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$)

h_t = Koefisien perpindahan panas di *tube* ($\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$)

r_i = Jari-jari dalam *tube* (m)

K_t = konduktivitas termal dari bahan *tube* ($\frac{W}{m \cdot ^\circ C}$)

r_o = Jari-jari luar *tube* (m)

h_s = Koefisien perpindahan panas di *shell* ($\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$)

3. Menentukan nilai kapasitas kalor uap dengan menggunakan persamaan (18) dan menentukan nilai kapasitas kalor air dingin dengan menggunakan persamaan (19) [1, 6-10]:

$$C_h = \dot{m}_h \times Cp_h \quad (18)$$

$$C_c = \dot{m}_c \times Cp_c \quad (19)$$

Keterangan=

C_h = kapasitas kalor uap ($\frac{kJ}{s \cdot ^\circ C}$)

\dot{m}_h = laju aliran massa uap ($\frac{kg}{s}$)

Cp_h = kalor jenis uap ($\frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C}$)

C_c = kapasitas kalor air dingin ($\frac{kJ}{s \cdot ^\circ C}$)

\dot{m}_c = laju aliran massa uap dingin ($\frac{kg}{s}$)

Cp_c = kalor jenis air dingin ($\frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C}$)

4. Menentukan nilai rasio kapasitas kalor perpindahan panas pada kondensator dengan menggunakan persamaan (20) [1, 6-10]:

$$C = \frac{C_{min}}{C_{maks}} \quad (20)$$

Keterangan:

C = rasio kapasitas kalor perpindahan panas

C_{min} = kapasitas kalor fluida minimum ($\frac{kJ}{s \cdot ^\circ C}$)

C_{maks} = kapasitas kalor fluida maksimum ($\frac{kJ}{s \cdot ^\circ C}$)

5. Menentukan nilai NTU dengan menghitung persamaan (21) [5-10]:

$$NTU = \frac{U \cdot A}{C_{min}} \quad (21)$$

Keterangan:

NTU = *Number of Unit Transfer*

U = Koefisien perpindahan panas menyeluruh ($\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$)

A = luas permukaan kondensator (m^2)

C_{min} = kapasitas panas minimum ($\frac{kJ}{s \cdot ^\circ C}$)

6. Menentukan nilai efektivitas kondensator dengan menggunakan persamaan (22) [6-10]:

$$\varepsilon = 2 \left\{ 1 + C + (1 + C^2)^{\frac{1}{2}} \times \frac{1 + \exp\left[-NTU(1+C^2)^{\frac{1}{2}}\right]}{1 - \exp\left[-NTU(1+C^2)^{\frac{1}{2}}\right]} \right\}^{-1} \quad (22)$$

Keterangan:

ε = efektivitas (%)

C = rasio kapasitas kalor perpindahan panas

exp = eksponensial

NTU = jumlah transfer unit kalor

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisa Aliran Fluida Yang Mengalir di Shell dan di Tube Pada Kondensor

1. Rata-rata temperatur fluida

Hasil perhitungan rata-rata temperatur fluida terdiri dari: a. rata-rata temperatur fluida uap (T_{hm}) memiliki nilai rata-rata selama satu bulan 43,67°C; b. rata-rata temperatur fluida air dingin (T_{cm}) memiliki nilai rata-rata selama satu bulan 35,07°C.

2. Sifat aliran fluida

Hasil perhitungan rata-rata temperatur fluida tidak sesuai dengan temperatur yang ada pada tabel sifat aliran fluida berdasarkan temperatur fluida [7], maka penentuan nilai sifat aliran fluida ialah menggunakan persamaan interpolasi (2). Sifat-sifat aliran fluida yang dihitung terdiri dari bilangan *Prandtl* fluida, kalor jenis fluida, massa jenis fluida air dingin, viskositas fluida dan konduktivitas termal fluida.

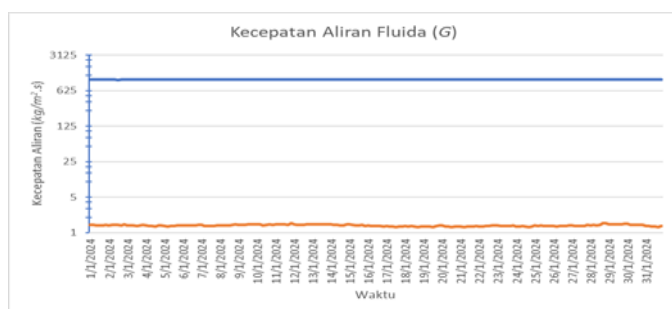
Hasil perhitungan bilangan *Prandtl* fluida terdiri dari: a. bilangan *Prandtl* fluida uap (Pr_h) memiliki nilai rata-rata selama satu bulan 4,026; b. bilangan *Prandtl* fluida air dingin (Pr_c) memiliki nilai rata-rata selama satu bulan 4,743.

Hasil perhitungan kalor jenis fluida terdiri dari: a. kalor jenis fluida uap (Cp_h) memiliki nilai rata-rata selama satu bulan 4,17965 $\frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C}$; b. kalor jenis fluida air dingin (Cp_c) memiliki nilai rata-rata selama satu bulan 4,17832 $\frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C}$.

Hasil perhitungan massa jenis fluida air dingin memiliki nilai rata-rata selama satu bulan 993,92 $\frac{kg}{m^3}$.



Gambar 4 Grafik Nilai Laju Aliran Fluida Air Dingin



Gambar 5 Grafik Nilai Kecepatan Aliran Fluida

Hasil perhitungan viskositas fluida terdiri dari: a. viskositas fluida uap (μ_h) memiliki nilai rata-rata selama satu bulan 0,000612 $\frac{kg}{m \cdot s}$; b. viskositas fluida air dingin (μ_c) memiliki nilai rata-rata selama satu bulan 0,000725 $\frac{kg}{m \cdot s}$.

Hasil perhitungan konduktivitas termal fluida terdiri dari: a. konduktivitas termal fluida uap (K_h) memiliki nilai rata-rata selama satu bulan 0,636 $\frac{W}{m \cdot ^\circ C}$; b. konduktivitas termal fluida air dingin (K_c) memiliki nilai rata-rata selama satu bulan 0,62451 $\frac{W}{m \cdot ^\circ C}$.

3. Laju aliran fluida air dingin

Pada grafik gambar 4, hasil perhitungan laju aliran fluida air dingin (\dot{m}_c) memiliki nilai rata-rata selama satu bulan 1159,574 $\frac{kg}{s}$.

4. Luas daerah aliran fluida

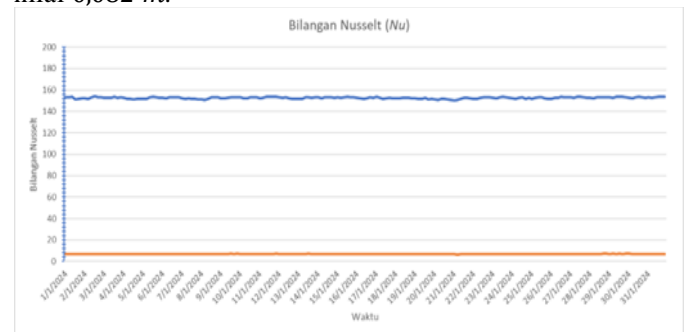
Hasil perhitungan luas daerah aliran fluida uap di *shell* (A_s) diperoleh dengan nilai 7,54 m^2 dan hasil perhitungan luas daerah aliran fluida air dingin di *tube* (A_t) diperoleh dengan nilai 1,12 m^2 .

5. Kecepatan aliran fluida

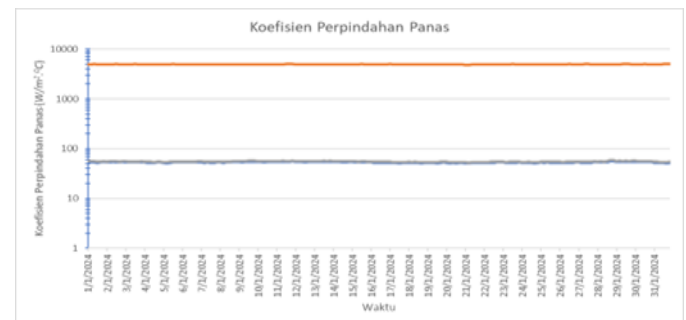
Hasil perhitungan kecepatan aliran fluida uap di *shell* (G_s) yang tersaji pada grafik gambar 5 memiliki nilai rata-rata selama satu bulan 1,38 $\frac{kg}{m^2 \cdot s}$ dan hasil perhitungan kecepatan aliran fluida air dingin di *tube* (G_t) yang tersaji pada grafik gambar 5 memiliki nilai rata-rata selama satu bulan 1032,18 $\frac{kg}{m^2 \cdot s}$.

6. Diameter ekuivalen

Hasil perhitungan diameter ekuivalen (D_e) diperoleh dengan nilai 0,082 m.



Gambar 6 Grafik Nilai Bilangan Nusselt



Gambar 7 Grafik Nilai Koefisien Perpindahan Panas

7. Bilangan Reynold

Hasil perhitungan bilangan Reynold fluida uap di *shell* (Re_s) memiliki nilai rata-rata selama 1 bulan 185,02 Hasil perhitungan bilangan Reynold fluida air dingin di *tube* (Re_t) memiliki nilai rata-rata selama satu bulan 27499,53.

8. Perhitungan bilangan Nusselt

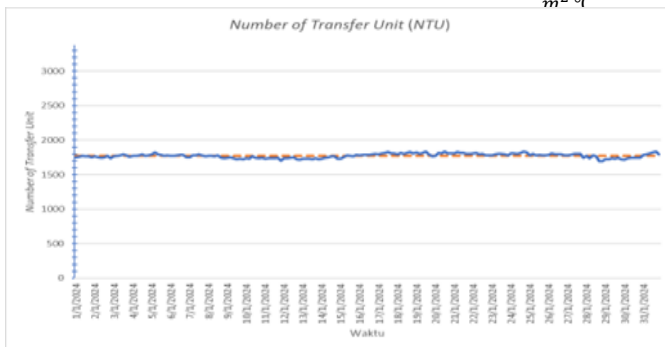
perhitungan bilangan Reynold fluida uap di *shell* < 2300 , maka tipe aliran fluida uap yang mengalir di dalam *shell* ialah laminar. Sedangkan dari hasil perhitungan bilangan Reynold fluida air dingin di *tube* > 4000 , maka tipe aliran fluida air dingin di dalam *tube* ialah turbulen.

Persamaan yang digunakan untuk menghitung bilangan Nusselt ditentukan dari tipe aliran fluida. Untuk bilangan Nusselt fluida uap di *shell* dihitung menggunakan persamaan (11), dikarenakan tipe aliran fluida uap yang mengalir di dalam *shell* ialah laminar. Untuk bilangan Nusselt fluida air dingin di *tube* dihitung menggunakan persamaan (14), dikarenakan tipe aliran fluida air dingin yang mengalir di dalam *tube* ialah turbulen. Hasil perhitungan bilangan Nusselt fluida uap di *shell* ($Nu_{s\ lam}$) yang tersaji pada grafik gambar 6 memiliki nilai rata-rata selama satu bulan 6,86. Hasil perhitungan bilangan Nusselt fluida air dingin di *tube* ($Nu_{t\ turb}$) yang tersaji pada grafik gambar 6 memiliki nilai rata-rata selama satu bulan 152,61.

B. Analisa Efektivitas Pada Kondensor

1. Koefisien perpindahan panas

Hasil perhitungan koefisien perpindahan panas di *shell* (h_s) yang tersaji pada grafik gambar 7 memiliki nilai rata-rata selama satu bulan $53,23 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$. Hasil perhitungan koefisien perpindahan panas di *tube* (h_t) yang tersaji pada grafik gambar 7 memiliki rata-rata selama satu bulan $4938,09 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$.



Gambar 8 Grafik Nilai NTU



Gambar 9 Grafik Nilai Efektivitas Kondensor

Pada grafik gambar 7, hasil perhitungan koefisien perpindahan panas menyeluruh (U) memiliki nilai rata-rata selama satu bulan $55,16 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$.

2. Perhitungan kapasitas kalor fluida

Hasil perhitungan kapasitas kalor fluida uap (C_h) memiliki nilai rata-rata selama satu bulan $43,57 \frac{kJ}{s \cdot ^\circ C}$. Hasil perhitungan kapasitas kalor fluida air dingin (C_c) memiliki nilai rata-rata selama satu bulan $4845,07 \frac{kJ}{s \cdot ^\circ C}$.

3. Perhitungan rasio kapasitas kalor

Dari hasil perhitungan kapasitas kalor fluida menunjukkan bahwa hasil perhitungan kapasitas kalor fluida uap lebih kecil daripada kapasitas kalor fluida air dingin. Sehingga kapasitas kalor fluida uap di posisikan sebagai kapasitas kalor minimum, sedangkan kapasitas kalor fluida air dingin diposisikan sebagai kapasitas kalor fluida minimum. Hasil perhitungan rasio kapasitas kalor (C) memiliki nilai rata-rata selama satu bulan 0,009.

4. Perhitungan NTU

Pada grafik gambar 8, hasil perhitungan NTU memiliki nilai rata-rata selama satu bulan 1773,66.

5. Perhitungan efektivitas kondensor

Pada grafik gambar 9, hasil perhitungan efektivitas kondensor memiliki nilai rata-rata selama satu bulan 99,55%.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan metode *Number of Transfer Unit* (NTU) yang digunakan untuk menganalisis kinerja dari kondensor *shell and tube* di PLTU 2 PT XYZ selama bulan Januari 2024, maka dapat disimpulkan nilai efektivitas kondensor dengan menggunakan metode NTU dipengaruhi oleh sifat aliran fluida, rasio kapasitas kalor dan NTU. Dari hasil penelitian, nilai efektivitas kondensor sebesar 99,55%.

REFERENCES

- [1] Tiara Fadillah Alfani, Abdul Razak, Desi Rismawati 2021 "Analisis Perpindahan Panas Pada Kondensor dengan Kapasitas Air Pendingin 35860 m³/jam", *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Polmed*, Vol. 2 No.2: 62-70, Agustus 2021.
- [2] Didit Sumardiyanto, Aldi Januar 2020 "Penentuan Nilai Efektivitas Kondensor Di PLTGU Blok 1-2 PT. Indonesia Power UPJP Priok", *Jurnal Kajian Teknik Mesin*, Vol.5 No.2: 99-103, 30 Aug 2020.
- [3] Aulia Rahmatunnissa, Cintiya Septa Hasannah 2023 "Analisis Perhitungan Nilai Efektivitas Kinerja Kondensor Pada Proses Penguapan di Pabrik Gula X", *Jurnal Teknologi Kimia Unimal* 12:2 (November 2023) 231-238.
- [4] Harlan S. F. Egeten, Frans P. Sappu, Benny Maluegha 2014 "Efektivitas Penukar Kalor Tipe Plate P41 73TK di PLTP Lahendong Unit 2", *Jurnal Online Poros Teknik Mesin Volume 3 Nomor 1*.
- [5] Septa Fernando Karo Karo, Darianto, & Muhammad Idris "Analisis Efektivitas Perpindahan Panas

Kondensor pada Proses Destilasi Daun Serai Wangi”,
Jurnal Ilmiah Teknik Mesin dan Industri (JITMI), 2(1)
2023: 31-40.

- [6] Theodore L. Bergman, Adrienne S. Lavine,
“*Fundamentals of Heat and Mass Transfer*”, Eighth
Edition, New York: Wiley, 2017.
- [7] Frank P. Incropera, David P. Dewitt, “*Fundamentals of
Heat and Mass Transfer*”, Third Edition, New York:
Wiley, 1990.
- [8] Adrian Bejan, “*Convection Heat Transfer*”, Fourth
Edition, New York: Wiley, 2013.
- [9] J.P. Holman, “*Perpindahan Kalor*”, Edisi Keenam,
Jakarta: Erlangga, 1991.
- [10] Yunus A. Çengel, Afshin J. Ghajar, “*Heat and Mass
Transfer*”, *Fundamentals and Applications*, Fifth
Edition, New York: McGraw-Hill Education, 2015.