

# Analisis Peningkatan Efektivitas Alat Penukar Kalor Tipe Plat Setelah Pembersihan Pada Sistem Oli Pendingin Turbin

Fathur Maulana<sup>1</sup>, I Gede Eka Lesmana<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Program Studi Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Pancasila  
Jl. Raya Lenteng Agung No. 56-80 RT.01/RW 03, Srengseng Sawah, Kec. Jagakarsa, Jakarta Selatan 12640  
maufathoer@gmail.com

---

---

## Abstrak

Jumlah sampah selalu meningkat setiap hari mengakibatkan penumpukan di tempat pembuangan akhir sampah. Dalam upaya menanggulangi penumpukan sampah, pemerintah mendirikan Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSA). Terdapat 4 sistem utama di dalam PLTSA, yaitu sistem penanganan bahan bakar, sistem pembakaran, sistem turbin generator, sistem pengolahan gas buang. Pada sistem turbin generator, Energi listrik yang dihasilkan generator didapat dari putaran turbin yang dihasilkan dari energi kinetik uap, untuk menjaga turbin tetap berada pada kedudukannya saat berputar maka terdapat bearing pada poros turbin. Untuk mencegah keausan, bearing dilumasi dengan oli sedangkan oli didinginkan pada *lube oil cooler* yang berbentuk *plate heat exchanger*. Setiap kurun waktu 6 bulan turbin beroperasi dilakukan proses pembersihan (*cleaning*) pada komponen PLTSA. Oleh karena itu, nilai efektivitas *lube oil cooler* sebelum dan sesudah proses *cleaning* perlu dianalisa guna mengetahui kenaikan performanya. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui peningkatan efektivitas alat penukar kalor tipe plat setelah dilakukan pembersihan. Data berupa temperatur oli diambil dari pembacaan sensor RTD dan kecepatan aliran diukur menggunakan flow meter yang terpasang pada *lube oil cooler*. Dari data tersebut didapatkan nilai rata-rata efektivitas *lube oil cooler* sebelum dilakukan *cleaning* sebesar 16 %, sedangkan untuk nilai rata-rata efektivitas *lube oil cooler* sesudah dilakukan *cleaning* rata-rata sebesar 41%.

**Kata kunci:** *lube oil cooler*, *plate heat exchanger*, efektivitas

---

---

## I. PENDAHULUAN

Peningkatan jumlah sampah merupakan masalah yang terjadi di kota – kota besar. Kapasitas lahan pembuangan yang semakin hari berkurang, membuat pemerintah harus mendirikan unit pengolahan sampah yang cepat dan tepat untuk mengurangi jumlah sampah yang ada. Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSA) merupakan salah satu upaya dari pemerintah untuk dapat menanggulangi permasalahan sampah secara cepat dan tepat. Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSA) menggunakan sistem proses *thermal*, pada proses ini sampah dijadikan bahan bakar yang digunakan untuk merubah air menjadi uap, energi kinetik dari uap digunakan untuk memutar turbin yang seporos dengan generator, generator ini akan merubah energi mekanik dari putaran turbin menjadi energi listrik. Pada pengolahan sampah proses *thermal* ini yang tidak kalah penting adalah sistem

pengolahan gas buang, pada sistem ini gas buang akan diproses untuk mendapatkan nilai baku mutu sebelum dibuang ke lingkungan.

Pada PLTSA banyak sekali alat penukar kalor diantaranya *boiler*, *heat exchanger* pada *power pack* hidrolik, *condensor* pada sistem turbin, *heat exchanger* pada *oil cooler* pada sistem turbin. Alat-alat penukar kalor tersebut memiliki peranan yang sangat penting pada masing-masing sistemnya. Performa dari masing-masing alat penukar kalor tersebut perlu dipantau agar tidak menimbulkan gangguan pada masing-masing sistemnya.

Unit penukar panas adalah suatu alat untuk memindahkan panas dari suatu fluida ke fluida yang lain [1]. Karena pentingnya alat penukar kalor, banyak dari industri menggunakan alat ini sebagai bagian dari proses. Untuk dimanfaatkan sebagai penukar kalor antar fluida. Banyak sekali tipe alat penukar kalor yang digunakan di dunia industri. Tipe *plate heat exchanger* merupakan salah satu tipe alat penukar kalor yang banyak digunakan pada dunia

industri. Tipe plate ini memiliki bentuk frame dengan diberi *plate-plate* yang memiliki penyekat diantara *plate* lainnya.

Alat penukar kalor kinerjanya dapat dilihat salah satunya dari nilai *efektivitasnya*. *Efektivitas* alat penukar kalor adalah nilai kinerja alat penukar yang didapatkan dari perhitungan laju aliran panasnya yaitu perbandingan antara laju perpindahan panas sebenarnya dengan laju perpindahan panas maksimal yang mungkin terjadi [2].

Penelitian dengan judul Analisis Perbandingan *Heat Exchanger* Tipe *Plate-Frame* dan *Shell and Tube* Pada *Intercooler* diteliti oleh Muthia Sari Atikayanti dkk pada tahun 2018 melakukan perbandingan terhadap *heat exchanger* tipe *plate-frame* dengan *shell and tube*. Hasil penelitian tersebut bahwa hasil perancangan *heat exchanger* tipe *shell and tube* satu *pass shell* dan dua *tube* aliran berlawanan dengan spesifikasi panjang 1,83m, *shell diameter* 0,405m, *bundle diameter* 0,205m, *tube outside diameter* 0,01905m, *tube inside diameter* 0,01483, *flow area per tube* 0,00017m memiliki *efektivitas* yang lebih besar yaitu 45,65% dibandingkan dengan *heat exchanger* tipe plat yang memiliki *efektivitas* 30,7% [3].

Penelitian dengan judul *Efektivitas Penukar Kalor Tipe Plate P41 73TK* di PLTP Lahendong Unit 2 diteliti oleh Harlan S.F. Egeten dkk. Melakukan penelitian untuk mengetahui *efektivitas* dari alat penukar kalor tipe plate P41 73TK pada tahun 2014. Hasil penelitian tersebut rata-rata *efektivitas* dengan metode LMTD, *efektivitas* termal dan *efektivitas* dengan metode NTU berturut-turut sebesar 83,3 % , 55,6 % , 30,3 %. Hasil perhitungan menunjukkan laju perpindahan panas total adalah 230,65 kW [4].

Penelitian dengan judul *Performance Analysis of Corrugated Plate Heat Exchanger With Water as Working Fluid*. Diambil dari *Internasional Journal of Reaserch in Engineering and Technology*, diteliti oleh Tisekar Salman W, dkk pada tahun 2016. Melakukan penelitian tentang *heat exchanger* tipe *plate* bergelombang. Pengujian dilakukan dengan memvariasikan parameter operasional seperti laju aliran massa air panas, suhu masuk air panas. Tujuan utama dari penelitian adalah untuk mengetahui pengaruh parameter tersebut terhadap kinerja penukar panas dengan pengaturan aliran paralel dan berlawanan. Koefisien perpindahan panas konveksi meningkat dengan Bilangan Reynolds. Ini dikarenakan bahwa aliran menjadi lebih bergolak dan menyebabkan turbulensi dan dapat dikaitkan dengan geometri pelat yaitu, kerut sebagai serta kecepatan aliran tinggi. *Efektivitas* penukar panas menurun seiring dengan peningkatan dalam laju

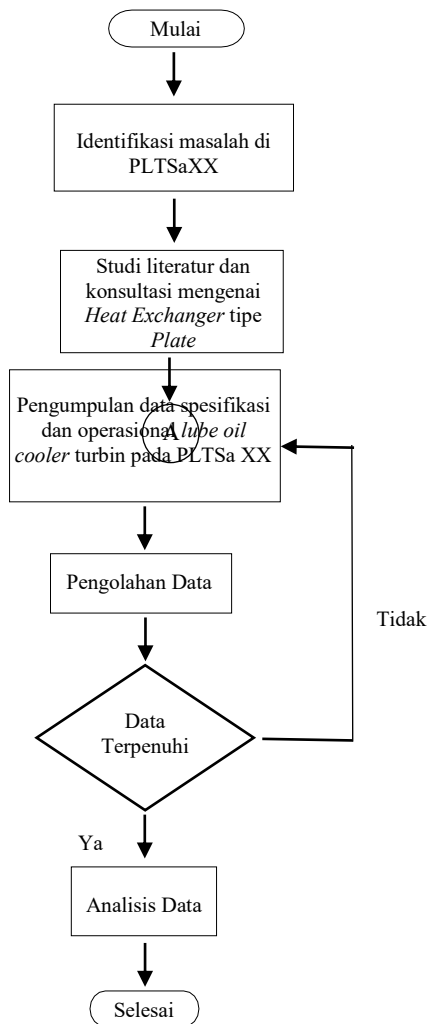
aliran massa fluida panas. *Efektivitas* maksimal untuk susunan aliran paralel adalah 0,67 dan untuk pengaturan counter flow adalah 0.82. Investigasi eksperimental pada PHE bergelombang ini bisa diperpanjang dengan fluida kerja multi fase seperti oli ke air. Pekerjaan ini dapat diperpanjang untuk perpindahan panas analisis nanofluida [5].

Pada sistem turbin generator merupakan sistem peralatan berputar. Setiap peralatan berputar memerlukan pelumas berupa oli maupun gemuk untuk mendinginkan bearing yang berputar. Apabila bearing yang berputar tidak diperhatikan sistem pelumasannya. Efeknya bearing cepat aus dan efek lebih parahnya bisa menimbulkan *unbalance* pada sistem peralatan putar seperti turbin dan generator. Temperature oli pelumas bearing turbin juga harus diperhatikan. Karena apabila temperature oli pelumas terlalu tinggi, membuat bearing turbin lebih cepat aus. Maka diperlukan alat penukar kalor untuk menjaga temperatur oli yg digunakan untuk sikulasi melumasi turbin.

Kegiatan penelitian dilakukan di PLTSa XX, terdapat peralatan bantu yaitu *lube oil cooler* turbin, yang digunakan untuk mendinginkan oli turbin setelah melumasi bearing turbin. Terdapat masalah, oli yang didinginkan setelah melewati *lube oil cooler* temperaturnya masih tinggi yaitu di 70-75°C. Pada Penelitian ini bertujuan untuk menghitung dan menganalisa kinerja dari alat penukar kalor pada sistem pendingin oli turbin di PLTSa, sebelum dan sesudah dilakukan pembersihan. Sehingga dapat memberikan nilai pembanding dari kinerja alat penukar kalor tersebut, dikarenakan alat penukar kalor pada sistem pendingin oli merupakan peralatan penting pada sistem turbin di PLTSa. Apabila tidak terpantau kinerja dari alat penukar kalor pada sistem pendingin oli turbin dan tidak dilakukan penanganan lebih lanjut, dapat menimbulkan *trip* pada sistem turbin di PLTSa.

## II. METODE PENELITIAN

Proses dan tahapan penyelesaian penelitian dapat dilihat pada gambar diagram alir yang disajikan pada gambar 1. Alat penukar kalor yang digunakan sebagai *lube oil cooler* dapat dilihat pada gambar 2. Alat penukar kalor yang digunakan pada sistem *lube oil cooler* menggunakan sistem aliran fluida berlawanan.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian



Gambar 2. Lube oil cooler

### Pengumpulan Data Spesifikasi dan Operasional Lube Oil Cooler

Pengumpulan data spesifikasi *lube oil cooler* didapatkan dari manual book operation and maintenance *Triveni Turbine Ltd.* Data operasional berupa temperature oli dan air pendingin sebelum masuk *lube oil cooler* dan sesudah masuk. Temperature dibaca melalui sensor RTD (*Resistance Thermal Detector*) pada jalur *lube oil cooler*. Flow oli dan air pendingin, didapatkan dari *flow meter* digital menggunakan *oriface* untuk mendapatkan

perbedaan tekanan. Diambil Oktober 2020 hingga November 2020.

Terdapat 34 *plate* yang ada pada lube oil cooler. Dimana pada masing-masing *plate* terdapat gasket untuk mencegah tercampurnya kedua fluida yaitu oli dengan air pendingin. Pada *plate* pertama akan mengalir oli sebagai fluida panas, lalu pada *plate* selanjutnya akan mengalir air sebagai fluida dingin, begitu seterusnya. Sehingga panas yang terbawa oleh oli akan diserap oleh air pendingin. Air pendingin yang sudah keluar dari alat penukar kalor akan memiliki temperature lebih tinggi dibandingkan temperature masuknya. Sebaliknya pada oli temperature oli keluar lebih rendah dibandingkan temperature oli masuk. Pada kondisi normal operasi alat penukar kalor ini dapat menurunkan temperature oli dari 60°C menjadi 45°C tetapi pada kondisi sebelum dilakukan pembersihan alat penukar kalor ini hanya dapat menurunkan temperature oli dari 80°C menjadi 72°C. Sehingga kondisi ini perlu dikaji untuk menemukan penyebab dan memberikan tindakan penanganan terhadap kondisi yang sudah terjadi dan mencari tindakan yang tepat untuk pencegahan terjadinya kondisi yang sama.

Pengolahan data dilakukan untuk mendapatkan nilai *efektivitas*, sebelum dan sesudah dilakukan pembersihan. Perhitungan data untuk mendapatkan nilai *efektivitas* menggunakan persamaan 1 dan 2. Untuk membantu proses perhitungan menggunakan *Microsoft Excel* maupun *WPS Spreadsheet*. Apabila dalam pengolahan data masih terdapat data yang kurang maka perlu dilakukan pengumpulan data kembali. Jika data sudah terpenuhi maka data akan diolah dan disajikan dalam data tabel maupun grafik. Agar mempermudah untuk melakukan analisis terhadap data tersebut.

Jika  $C_c < C_h$ , maka *efektivitas heat exchanger* dapat ditentukan :

$$\varepsilon = \frac{C_h (T_{h \text{ in}} - T_{h \text{ out}})}{C_{\text{min}} (T_{h \text{ in}} - T_{c \text{ in}})} = \frac{Q_h}{Q_{\text{max}}} \quad (1)$$

Jika  $C_h < C_c$ , maka *efektivitas heat exchanger* dapat ditentukan :

$$\varepsilon = \frac{C_c (T_{c \text{ out}} - T_{c \text{ in}})}{C_{\text{min}} (T_{h \text{ in}} - T_{c \text{ in}})} = \frac{Q_c}{Q_{\text{max}}} \quad (2)$$

Dimana :

$\varepsilon$  : *efektivitas heat exchanger*

$C_h$  : *kapasitas fluida panas atau  $\dot{m}_h c_{ph}$*

$C_c$  : *kapasitas fluida dingin atau  $\dot{m}_c c_{pc}$*

$C_{\text{min}}$  : *nilai  $\dot{m}_h c_{ph}$  atau  $\dot{m}_c c_{pc}$  yang lebih kecil*

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

$c_{ph}$  : *panas spesifik fluida panas (J/s kg K)*

- $\dot{m}_c$  : massa fluida dingin (kg/s)  
 $c_{pc}$  : panas spesifik fluida dingin (J/s kg K)  
 $T_{h in}$  : suhu fluida panas yang masuk (K)  
 $T_{h out}$  : suhu fluida panas yang keluar (K)  
 $T_{c in}$  : suhu fluida dingin yang masuk (K)  
 $T_{c out}$  : suhu fluida dingin yang keluar (K)

**Tabel 1. Data Spesifikasi Fluida dan Lube Oil Cooler**

No	Uraian	Satuan	Keterangan	
			Oli (ISO VG 46)	Air
1	Jenis Fluida	-		
2	$T_{in}$	°C	60	32
3	$T_{out}$	°C	45	40
4	Flow	m <sup>3</sup> /h	8	5
5	Panas jenis	kJ/kg.K	2,001	4,187
6	Massa jenis	kg/m <sup>3</sup>	885,8	996,3
7	Konduksi termal plate <i>Stainless steel</i> , AISI 316.	W/m.K	16,2	
8	Luas permukaan perpindahan panas (A)	m <sup>2</sup>	5,1	
9	Kofisien perpindahan panas keseluruhan (U)	W/m <sup>2</sup> .K	1747	
No	Uraian	Satuan	Keterangan	
10	Jumlah plate	Pcs	34	
Materials				
11	Nozzles	<i>Stainless steel</i> , AISI 316		
12	Plates	<i>Stainless steel</i> , AISI 316		
13	Gaskets	Nitrile (P)		

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data spesifikasi berupa fluida dan juga *lube oil cooler* yang digunakan dapat dilihat pada tabel 1. Untuk data operasional *lube oil cooler* sebelum dilakukan pembersihan pada tabel 2. Sedangkan untuk data operasional *lube oil cooler* sesudah dilakukan pembersihan pada tabel 3.

**Tabel 2. Data Operasional Tanggal 02/10/2020 - 06/10/2020**

Tanggal	Temperatur Oli (°C)		Temperatur Air Pendingin (°C)		Debit (m <sup>3</sup> /jam)		Panas Spesifik (kJ/kg.K)	
	In	Out	In	Out	Oli	Air	Oli	Air
02/10/2020	70	62	27	47	7,43	4,53	2,001	4,187
03/10/2020	72	65	26	46	7,63	4,48		
04/10/2020	75	68	26	47	7,46	4,34		
05/10/2020	76	68	28	48	7,28	4,33		
06/10/2020	80	72	29	48	7,49	4,04		

**Tabel 3. Data Operasional Tanggal 02/11/2020 - 06/11/2020**

Tanggal	Temperatur Oli (°C)		Temperatur Air Pendingin (°C)		Debit (m <sup>3</sup> /jam)		Panas Spesifik (kJ/kg.K)	
	In	Out	In	Out	Oli	Air	Oli	Air
02/11/2020	60	47	28	32	7,48	5,03	2,001	4,187
03/11/2020	60	48	28	33	7,49	5,24		
04/11/2020	60	47	28	30	7,88	5,47		
05/11/2020	60	45	27	30	7,25	5,38		
06/11/2020	59	45	28	31	7,73	5,22		

Setelah data spesifikasi dan operasional *lube oil cooler* terkumpul dan terpenuhi, maka dilanjutkan dengan perhitungan untuk mengetahui nilai efektivitas *lube oil cooler*. Sebelum mendapatkan nilai efektivitas *lube oil cooler*, perlu diketahui nilai aliran massa fluida panas dan dingin ( $\dot{m}$ ), menghitung nilai kapasitas panas (C) fluida panas dan dingin, menghitung laju perpindahan panas aktual (Q act) dan laju perpindahan panas maksimum (Q max).

#### Hasil Perhitungan Efektivitas *Lube Oil Cooler* Sebelum Dilakukan *Cleaning*.

Hasil perhitungan laju aliran massa fluida, kapasitas panas fluida, laju perpindahan panas aktual, laju perpindahan panas maksimal dan efektivitas. Didapatkan dari data operasional *heat*

exchanger sebelum dilakukan *cleaning*, ditampilkan pada tabel 4.

**Tabel 4 Tabel Perhitungan Lube Oil Cooler Sebelum Dilakukan Cleaning**

$T_{Oil In}$ (K)	$T_{Oil Out}$ (K)	$T_{Water In}$ (K)	$T_{Water Out}$ (K)	$Q_{Act}$ (kW)	$Q_{Max}$ (kW)	$E$ (%)
343	335	300	320	29,266	157,303	18,605
345	338	299	319	26,297	172,808	15,217
348	341	299	320	25,711	179,976	14,286
349	341	301	321	28,675	172,049	16,667
353	345	302	321	29,502	188,076	15,686

- a. Perhitungan laju perpindahan massa oli ( $\dot{m}_{oli}$ ) dan air ( $\dot{m}_{air}$ ) :

$$\begin{aligned}\dot{m}_{oli} &= \rho \times v \\ &= 885,8 \text{ kg/m}^3 \times 0,00206 \text{ m}^3/\text{sec} \\ &= 1,828 \text{ kg/sec}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\dot{m}_{air} &= \rho \times v \\ &= 996,3 \text{ kg/m}^3 \times 0,00125 \text{ m}^3/\text{sec} \\ &= 1,254 \text{ kg/sec}\end{aligned}$$

- b. Perhitungan laju kapasitas panas oli ( $C_{oli}$ ) dan kapasitas panas air ( $C_{air}$ ) :

$$\begin{aligned}\dot{C}_{oli} &= \dot{m}_{oli} \times c_{oli} \\ &= 1,828 \text{ kg/sec} \times 2,001 \text{ kJ/kg.K} \\ &= 3,658 \text{ kJ/sec.K}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\dot{C}_{air} &= \dot{m}_{air} \times c_{air} \\ &= 1,254 \text{ kg/sec} \times 4,187 \text{ kJ/kg.K} \\ &= 5,249 \text{ kJ/sec.K}\end{aligned}$$

Dari perhitungan laju kapasitas panas didapatkan  $\dot{C}_{oli} < \dot{C}_{air}$ , maka  $C_{maks} = \dot{C}_{air}$  dan  $C_{min} = \dot{C}_{oli}$ .

- c. Perhitungan laju perpindahan panas maksimum ( $Q_{maks}$ ) :

$$\begin{aligned}Q_{maks} &= C_{min} (T_{oli in} - T_{air in}) \\ Q_{maks} &= 3,658 \text{ kJ/sec.K} \times (343 \text{ K} - 300 \text{ K}) \\ &= 157,303 \text{ kJ/sec} \\ &= 157,303 \text{ kW}\end{aligned}$$

- d. Perhitungan laju perpindahan panas aktual ( $Q_{act}$ ) :

$$\begin{aligned}Q_{act} &= \dot{C}_{oli} \times (T_{oli in} - T_{oli out}) \\ Q_{act} &= 3,658 \text{ kJ/sec.K} \times (343 \text{ K} - 335 \text{ K}) \\ &= 29,266 \text{ kJ/sec} \\ &= 29,266 \text{ kW}\end{aligned}$$

- e. Perhitungan Efektivitas Metode LMTD:

$$\varepsilon = \frac{Q_{act}}{Q_{max}} = \frac{29,266 \text{ kW}}{157,303 \text{ kW}} \times 100\% = 18,6 \%$$

**Hasil Perhitungan Efektivitas Lube Oil Cooler Sesudah Dilakukan Cleaning.**

Hasil perhitungan laju aliran massa fluida, kapasitas panas fluida, laju perpindahan panas aktual, laju perpindahan panas maksimal dan efektivitas. Didapatkan dari data operasional *heat exchanger* sesudah dilakukan *cleaning*, ditampilkan pada tabel 5.

**Tabel 5 Tabel Perhitungan Lube Oil Cooler Sesudah Dilakukan Cleaning**

$T_{Oil In}$ (K)	$T_{Oil Out}$ (K)	$T_{Water In}$ (K)	$T_{Water Out}$ (K)	$Q_{Act}$ (kW)	$Q_{Max}$ (kW)	$E$ (%)
333	320	301	305	47,877	117,851	40,625
333	321	301	306	44,253	118,008	37,500
333	320	301	303	50,437	124,153	40,625
333	318	300	303	53,544	117,796	45,455
332	318	301	304	53,283	117,984	45,161

- a. Perhitungan laju perpindahan massa oli ( $\dot{m}_{oli}$ ) dan air ( $\dot{m}_{air}$ ) :

$$\begin{aligned}\dot{m}_{oli} &= \rho \times v \\ &= 885,8 \text{ kg/m}^3 \times 0,00208 \text{ m}^3/\text{sec} \\ &= 1,840 \text{ kg/sec}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\dot{m}_{air} &= \rho \times v \\ &= 996,3 \text{ kg/m}^3 \times 0,00140 \text{ m}^3/\text{sec} \\ &= 1,450 \text{ kg/sec}\end{aligned}$$

- b. Perhitungan laju kapasitas panas oli ( $C_{oli}$ ) dan kapasitas panas air ( $C_{air}$ ) :

$$\begin{aligned}\dot{C}_{oli} &= \dot{m}_{oli} \times c_{oli} \\ &= 1,840 \text{ kg/sec} \times 2,001 \text{ kJ/kg.K} \\ &= 3,683 \text{ kJ/sec.K}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\dot{C}_{air} &= \dot{m}_{air} \times c_{air} \\ &= 1,450 \text{ kg/sec} \times 4,187 \text{ kJ/kg.K}\end{aligned}$$

$$= 5,829 \text{ kJ/sec.K}$$

Dari perhitungan laju kapasitas panas didapatkan  $\dot{C}_{oli} < \dot{C}_{air}$ , maka  $C_{maks} = \dot{C}_{air}$  dan  $C_{min} = \dot{C}_{oli}$ .

c. Perhitungan laju perpindahan panas maksimum ( $Q_{maks}$ ) :

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{maks} &= C_{min} \times (T_{oli \text{ in}} - T_{air \text{ in}}) \\ \dot{Q}_{maks} &= 3,683 \text{ kJ/sec.K} \times (333 \text{ K} - 301 \text{ K}) \\ &= 117,851 \text{ kJ/sec} \\ &= 117,851 \text{ kW} \end{aligned}$$

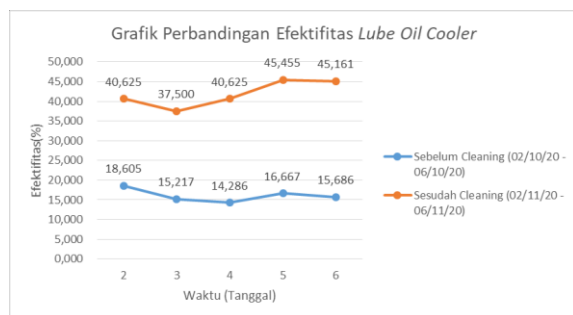
d. Perhitungan laju perpindahan panas aktual ( $Q_{act}$ ) :

$$\begin{aligned} Q_{act} &= \dot{C}_{oli} \times (T_{oli \text{ in}} - T_{oli \text{ out}}) \\ Q_{act} &= 3,683 \text{ kJ/sec.K} \times (333 \text{ K} - 320 \text{ K}) \\ &= 47,877 \text{ kJ/sec} \\ &= 47,877 \text{ kW} \end{aligned}$$

e. Perhitungan Efektivitas Metode LMTD:

$$\varepsilon = \frac{Q_{act}}{Q_{max}} = \frac{47,877 \text{ kW}}{117,851 \text{ kW}} \times 100\% = 40,63 \%$$

Pada gambar 3 menampilkan grafik nilai efektivitas *lube oil cooler* sebelum dan sesudah dilakukan *cleaning*. Data *lube oil cooler* sebelum *cleaning* ditampilkan pada garis biru yaitu dengan tanggal operasional 02/10/2020 sampai dengan 06/10/2020. Sedangkan data *lube oil cooler* sesudah *cleaning* ditampilkan pada garis orange yaitu dengan tanggal operasional 02/11/2020 sampai dengan 06/11/2020.



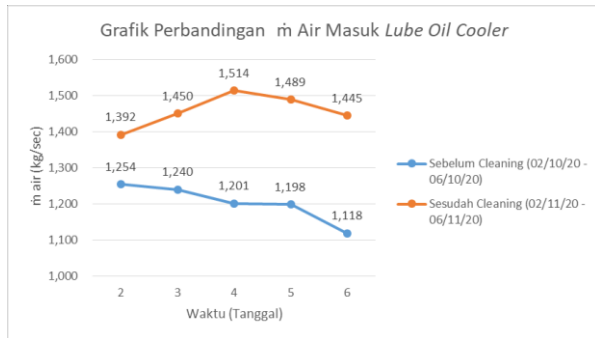
**Gambar 3 Grafik Perbandingan Nilai Efektivitas Lube Oil Cooler Sebelum dan Sesudah Dilakukan Cleaning**

Dari data perhitungan efektivitas *lube oil cooler* sebelum dan sesudah dilakukan *cleaning* berdasarkan data operasional *lube oil cooler* sebelum dilakukan *cleaning*, tanggal 02/10/2020 sampai

dengan 06/10/2020 dengan efektivitas rata-rata *lube oil cooler* sebesar 16,092 %, sedangkan untuk data operasional *lube oil cooler* sesudah dilakukan *cleaning*, tanggal 02/11/2020 sampai dengan 06/11/2020 dengan efektivitas rata-rata *lube oil cooler* sebesar 41,873 %. Dari kedua data diatas diketahui rata-rata perbedaan efektivitas *lube oil cooler* sebesar 25,758%, perbedaan nilai efektivitas ini terpaut cukup jauh.

Apabila kita lihat dari data hasil perhitungan, nilai yang membuat perbedaan efektivitas *lube oil cooler* adalah  $Q_{actual}$  (laju perpindahan panas aktual) pada hasil perhitungan data operasional sebelum dilakukan *cleaning* rata-rata sebesar 27,890 kW, sedangkan pada hasil perhitungan data operasional sesudah dilakukan *cleaning* rata-rata sebesar 49,879 kW, yang artinya laju perpindahan panas aktual *lube oil cooler* sebelum dilakukan *cleaning* lebih kecil 22 kW dibandingkan *lube oil cooler* sesudah dilakukan *cleaning*. Apabila dilihat lebih dalam lagi nilai kapasitas panas air pendingin sebelum dilakukan *cleaning lube oil cooler* rata-rata sebesar 5,034 kJ/sec K sedangkan untuk kapasitas panas air pendingin sesudah dilakukan *cleaning lube oil cooler* rata-rata sebesar 6,104 kJ/sec K. Perbedaan kapasitas panas sebesar 1 kJ/sec K yang artinya penyerapan energi panas yang dibawa oleh air pendingin sebelum dan sesudah dilakukan *cleaning lube oil cooler* sebesar 1 kJ dalam 1 detik kelvin, nilai perbedaan yang cukup tinggi sehingga dapat menimbulkan nilai efektivitas *lube oil cooler* yang cukup jauh. Ketika kaitkan dengan persamaan yang digunakan bahwa, **kapasitas panas air = laju aliran massa x panas spesifik air**, apabila kita asumsikan panas spesifik air tetap nilainya, maka nilai laju aliran massa air yang perlu diperhatikan.

Maka perbandingan nilai laju aliran massa air pendingin dapat dilihat pada gambar 4 menampilkan grafik nilai aliran massa air pendingin masuk *lube oil cooler* sebelum dan sesudah dilakukan *cleaning*. Data *lube oil cooler* sebelum *cleaning* ditampilkan pada garis biru yaitu dengan tanggal operasional 02/10/2020 sampai dengan 06/10/2020. Sedangkan data *lube oil cooler* sesudah *cleaning* ditampilkan pada garis orange yaitu dengan tanggal operasional 02/11/2020 sampai dengan 06/11/2020.



**Gambar 4. Grafik Perbandingan Nilai Aliran Massa Air Pendingin Masuk Lube Oil Cooler Sebelum dan Sesudah Dilakukan Cleaning.**

Dari data perhitungan operasional sebelum dilakukan *cleaning* pada *lube oil cooler* rata-rata nilai laju aliran massa air pendingin ( $\dot{m}$  air) sebesar 1,202 kg/sec, sedangkan data perhitungan operasional sesudah dilakukan *cleaning* pada *lube oil cooler* rata-rata nilai laju aliran massa air pendingin ( $\dot{m}$  air) sebesar 1,458 kg/sec. Terjadi perbedaan sebesar 0,25 kg/sec, yang artinya nilai laju aliran massa air pendingin sebelum dilakukan *cleaning* pada *lube oil cooler* lebih kecil sebesar **0,25 kg dalam 1detik** dibandingkan nilai laju aliran massa air pendingin sesudah dilakukan *cleaning* pada *lube oil cooler*. Maka salah satu penyebab perbedaan efektivitas *lube oil cooler* adalah dari laju aliran massa air pendingin yang lebih sedikit sebelum dilakukan *cleaning* pada *lube oil cooler* dibandingkan setelah dilakukan *cleaning* pada *lube oil cooler*.

Hubungan antara efektivitas *lube oil cooler* dengan aliran massa air pendingin seharusnya berbanding lurus, tetapi pada kedua grafik tidak terlalu menggambarkan kondisi tersebut, hal ini dikarenakan ada beberapa faktor yang harus diperhatikan, yaitu nilai temperatur air pendingin dan juga nilai aliran massa oli yang diinginkan. Karena nilai temperature air pendingin dan juga aliran massa oli memiliki pengaruh terhadap nilai efektivitas. Pada grafik 3 dan 4 hanya ingin menampilkan perbedaan nilai efektivitas dan aliran massa air pendingin *lube oil cooler* sebelum dan sesudah dilakukan *cleaning*.

Apabila kita kaitkan dengan dasar teori yang ada, beberapa faktor yang mungkin terjadi pada kasus ini akibat adanya faktor pengotoran adalah kecepatan aliran fluida pendingin. Faktor pengotoran sangat mungkin terjadi, karena ada beberapa faktor pemicu, diantaranya kualitas air pendingin yang digunakan, kebersihan area *lube oil cooler* dan lain-lainnya. Ketika dilihat dari data kualitas air pendingin yang digunakan pada buku manual *operation and maintenance* Triveni Turbine, pada tabel 6.

**Tabel 6. Nilai Parameter yang Disarankan Untuk Air Pendingin**

Parameter	Unit	Circulating Cooling Water
pH	-	7,2
Total Disolved Solid	ppm	604
Total Suspended Solid	ppm	40 (max)

Sebelum dilakukan *cleaning lube oil cooler*, kualitas air pendingin yang digunakan pada PLTSa XX, dapat dilihat pada tabel 7.

**Tabel 7. Nilai Parameter yang Digunakan Pada Air Pendingin**

Parameter	Unit	Circulating Cooling Water
pH	-	9,1
Total Disolved Solid	ppm	859
Total Suspended Solid	ppm	4

Apabila kita bandingkan nilai parameter yang disarankan dengan nilai parameter aktual kualitas air pendingin yang digunakan sebelum dilakukan *cleaning lube oil cooler*. Nilai pH yang disarankan 7,2 yaitu termasuk kondisi netral, sedangkan nilai parameter air pendingin yang digunakan adalah 9,1 dimana nilai ini menunjukkan air pada kondisi basa. Setelah itu apabila nilai TDS dibandingkan, nilai yang disarankan adalah 604 ppm sedangkan kondisi TDS aktual adalah 859 ppm. Untuk nilai TSS aktual air pendingin yang digunakan sebesar 4 ppm, nilai TSS ini masih jauh diambang batas maksimal yang disarankan yaitu sebesar 40 ppm.

Kecenderungan terjadinya pengerakan pada *plate lube oil cooler* melihat nilai pH yang cenderung basa dan TDS yang cukup tinggi. Karena dengan kondisi air yang cenderung basa, memicu untuk TDS ini menimbulkan pengerakan pada *plate lube oil cooler* lebih besar terjadi. Sehingga nantinya akan membuat laju aliran massa air pendingin lebih kecil. Pada kasus ini seharusnya kondisi kualitas air pendingin harus selalu diperhatikan agar tidak



memicu lebih cepat terjadinya pengotoran pada *plate lube oil cooler*.

Penurunan kinerja dari alat penukar kalor pada sistem pendingin oli turbin di PLTSA, akan menyebabkan penyerapan panas pada oli pelumas turbin yang tidak maksimal. Sehingga oli turbin yang sudah didinginkan memiliki temperature yang tinggi mencapai 80°C, sedangkan pada *manual book triveni* kondisi operasional temperature oli setelah didinginkan adalah 45°C - 50°C. Apabila kondisi ini terus terjadi dan tanpa ada penanganan lebih lanjut, temperatur oli akan terus meningkat. Pada sistem pengaman turbin di PLTSA, ketika temperature oli mencapai 90°C, alarm *lube oil high temperatur* akan berbunyi, dan apabila temperature oli mencapai 100°C, sistem turbin akan trip.

Setelah dilakukan pengecekan pada area alat penukar kalor, tidak ditemukan faktor lain seperti halnya kebocoran pada sistem alat penukar kalor tersebut. Sehingga analisa dari kondisi yang terjadi adalah laju pengotoran yang cepat terjadi pada alat penukar kalor tersebut. Hal ini diperkuat setelah dilakukan pembongkaran pada alat penukar kalor didapati banyak pengerakan pada sisi plate air pendingin dan jalur masuk air pendingin dan kondisi gasket setelah dilakukan pengecekan kondisinya masih baik. Pada kondisi seperti ini tindakan penanganan untuk kasus ini dengan melakukan pembersihan pada alat penukar kalor tersebut. Untuk tindakan pencegahan yang bertujuan untuk memperlambat laju pengotoran adalah memperhatikan kualitas air pendingin, gunakan air pendingin sesuai dengan parameter yang dianjurkan. Selain itu *cooling tower* yang menjadi sumber dari air

#### IV. KESIMPULAN

Hasil perhitungan nilai efektivitas *lube oil cooler* sebelum dilakukan *cleaning* rata - rata sebesar 16 %, sedangkan untuk nilai efektivitas *lube oil cooler* sesudah dilakukan *cleaning* rata-rata sebesar 41%. Selisih rata - rata efektivitas *lube oil cooler* sesudah dilakukan *cleaning* lebih besar 25% dibandingkan dengan efektivitas *lube oil cooler* sebelum dilakukan *cleaning*.

Penyebab penurunan efektivitas *lube oil cooler* apabila dibandingkan dengan kondisi *lube oil cooler* sebelum dilakukan *cleaning* dengan kondisi *lube oil cooler* sesudah dilakukan *cleaning* diantaranya karena nilai rata - rata laju aliran massa air pendingin yang masuk *lube oil cooler* sebelum dilakukan *cleaning lube oil cooler* lebih kecil 0,25 kg/sec dibandingkan rata - rata laju aliran massa air pendingin yang masuk *lube oil cooler* sesudah

dilakukan *cleaning lube oil cooler*. Hal ini karena faktor pengotoran yang cepat terjadi dikarenakan kondisi kualitas air pendingin tidak sesuai dengan parameter yang disarankan pada *manual book triveni turbine*.

Setelah melakukan penelitian ini, peneliti memberikan saran pengembangan penelitian ini untuk menganalisa aliran udara untuk memaksimalkan kinerja alat penukar kalor pada sistem pendingin oli turbin

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih diberikan kepada pihak yang berkontribusi dalam hal pendanaan atau fasilitas.

#### REFERENSI

- [1]. Holman, J.P. dan Jasjfi, E., 1994. Perpindahan Kalor, Edisi Keenam. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- [2]. Keith, F. dan Prijono, A., 2018. Prinsip-prinsip Perpindahan Panas. Edisi Ketiga. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- [3]. Atikayanti, M. S. dkk., 2018. Analisis Perbandingan Heat Exchanger Tipe Plate-Frame Dan Shell.
- [4]. Egeten, H. S. F. dkk., 2014. Efektivitas Penukar Kalor Tipe Plate P41 73Tk.
- [5]. Salman, T., dkk., 2016. Performance Analysis of Corrugated Plate Heat Exchanger With Water As Working Fluid, International Journal of Research in Engineering and Technology, 05(04), hal. 56–62. doi: 10.15623/ijret.2016.0504012.
- [6]. Cengel, Y. A. dan Ghajar, A. J., 2015. Heat and Mass Transfer. Fifth Edit. New York: Mc Graw Hill Education.
- [7]. Manual, M. (n.d.). Opeation and Maintenance manual.: Triveni Turbine Ltd.
- [8]. Shah, R. K. dan Sekulic, D. P., 2003. Fundamentals of heat technology. Kanada: John Wiley & Sons, Inc
- [9]. Sitompul, S.E. M.Sc and Ir. Tunggul. M., "Alat Penukar Kalor, 6th ed." Jakarta: PT Raja Grafindo Persada, 1993.
- [10]. Monice and Perinov, "Analisis Potensi Sampah Sebagai Bahan Baku Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PltSa) Di Pekanbaru," SainETIn, vol. 1, no. 1, pp. 9–16, 2017, doi:10.31849/sainetin.v1i1.166