ANALISIS KINERJA LUBE OIL COOLER PADA MAINTENACE OUTAGE DI PLTGU

Lube Oil Cooler Performance Analysis Before and After Maintenance Outage at PLTGU

Andrian Nurul Saputra, Angky Puspawan*, Nurul Iman Supardi
Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Bengkulu
Jl. W.R. Supratman, Kandang Limun, Bengkulu. Telp. (0736) 344087, 22105-227
*) Email : *apuspawan@unib.ac.id*

ABSTRACT

This work has been done in one of the gas and steam power generating units in the Southern Sumatra. Lube oil cooler is a cross flow compact heat exchanger that functions to release the heat carried by lubricating oil flowing through the shell side to the tube side with water cooling fluid where each liquid is separated in the lube oil cooler the ratio of the heat transfer coefficient on the shell and pipe sides tube and the effectiveness of heat transfer that occurs. It can be concluded that before maintenance outage the logmean temperature difference value (LMTD) was 15.48 ^{o}C while after maintenance outage the LMTD value decreased to 10.52 ^{o}C. The effectiveness value before maintenance outage was 50.62%, whereas after maintenance outage was carried out the average value increased by 59.61%. So that a good performance is in the condition after the maintenance outage.

Keywords*: Gas-Stem Power Plant; Lube oil cooler; Log mean temperature difference; Efektifity*

1. PENDAHULUAN

Dalam kehidupan sehari-hari penggunaan listrik menjadi kebutuhan utama. Sebagai negara berkembang, konsumsi listrik di Indonesia mengalami peningkatan setiap tahun seiring dengan peningkatan pertumbuhan ekonomi nasional. Berdasarkan data yang dikeluarkan Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) pada tahun 2014, produksi listrik di Indonesia diperkirakan mengalami peningkatan sebesar 8,6% per tahun,dengan produksi listrik nasional mencapai 1.328 TWh pada tahun 2035. Masalah yang dihadapi saat ini adalah masih rendahnya tingkat elektrifikasi nasional, dimana 24,8% dari total seluruh penduduk Indonesia belum merasakan manfaat energi listrik secara langsung. Hal ini terjadi dikarenakan beberapa daerah terpencil di Indonesia belum terinstalasi sambungan listrik. Hal ini terjadi dikarenakan beberapa daerah terpencil di Indonesia belum terinstalasi sambungan listrik[1].

Pembangkit listrik terdiri atas berbagai jenis, tergantung dengan sumber bahan bakar yang digunakan, seperti Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG), Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA), Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP), Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD), Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), dan lain – lain [2].

Pada instalasi unit turbin di PLTGU,terdapat banyak komponen mesin yang saling bersinggungan yang akan menimbulkan gesekan, mudah panas, keausan hingga kerusakan material saat beroperasi penuh. Setiap gesekan dan kenaikan temperatur kerja turbin akan mempengaruhi temperatur minyak pelumas serta performance turbin.

Lube oil cooler merupakan salah satu *auxiliary equipment* dalam sistem pelumasan turbin pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap. *Lube Oil Cooler* berfungsi untuk mendinginkan temperatur *lube oil* yang telah membawa energi panas dari gesekan-gesekan komponen turbin uap yang akan didistribusikan pada bearing-bearing turbin dan generator. Proses pendinginan terjadi dengan cara minyak pelumas mengalir melalui sisi *shell* sedangkan aliran air pendingin mengalir melalui sisi *tube* sehingga masing-masing fluida tidak bersinggungan langsung didalam *lube oil cooler*. Dengan demikian proses penyerapan panas dari minyak pelumas terjadi secara konveksi.

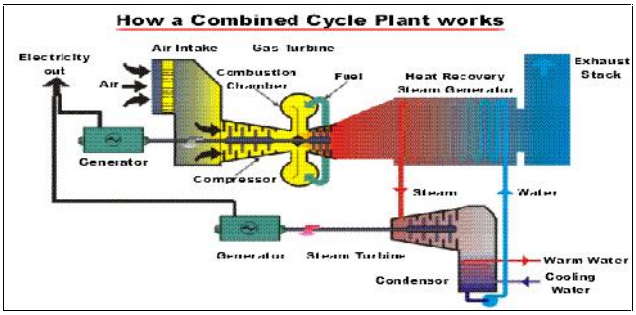
Setiap gesekan yang terjadi akan cenderung dapat menimbulkan panas yang apabila temperaturnya terus meningkat dapat menimbulkan kerusakan pada material komponen di turbin dan generator kemudian dapat juga terjadi *Trip*, minyak pelumas dapat juga berfungsi sebagai penyerap panas dan pembawa ke sistem pendingin minyak pelumas [3].

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pengertian PLTGU

Pusat listrik tenaga gas dan uap (PLTGU) atau dikenal juga dengan *Combine Cycle Power Plant* (Pusat Listrik dengan Siklus Gabungan) merupakan gabungan antara PLTG dan PLTU. Gas panas yang keluar dari turbin gas suhunya relatif tinggi (500^{o} C) digunakan untuk memnaskan air dan memproduksi uap yang kemudian digunakan untuk mendorong sudu-sudu turbin generator untuk menghasilkan listrik. Dengan demikian diperoleh effisien gabungan yang lebih tinggi dibandingkan effisiensi masing-masing PLTU maupun PLTG.

Proses pemanasan air dan pembentukan uap terjadi di *Heat Recovery Steam Generator* (HRSG) yang berfungsi menggantikan boiler seperti pada PLTU. HRSG sebagai penukar kalor, akan memindahkan panas yang terkandung dalam gas bekas ke air dan uap. Karena sebagai penukar kalor, HRSG harus memiliki luasan yang besar untuk menangkap sebagian besar panas. Untuk memenuhi tujuan tersebut, konstruksi HRSG terdiri dari pipa-pipa yang dilengkapi sirip diseluruh luasannya. Unit *combined cycle* PLTGU dapat dilihat pada **Gambar 1.**

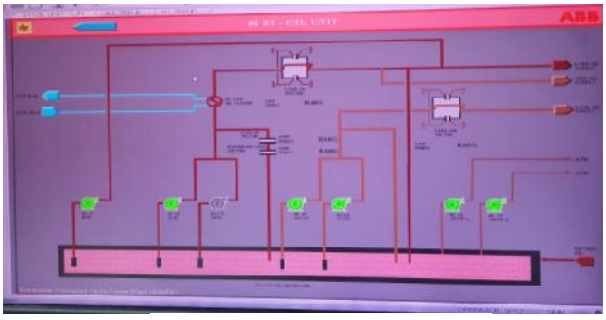


Gambar 1 Unit *combined cycle* PLTGU

Di dalam PLTGU berlangsung dua siklus sekaligus, yaitu siklus udara dan gas panas yang berlangsung didalam turbin gas dan siklus air dan uap yang berlaku untuk turbin uap. Siklus udara dan gas panas dikenal sebagai siklus *Brayton* yang terjadi pada proses *gas turbin generator* (GTG) dan siklus air-uap dikenal sebagai siklus Rankine yang terjadi pada proses *steam turbin generator* (STG).

2.2 Prinsip Kerja *Lube Oil System*

Pada dasarnya Oli dari tangki dipompakan menuju bantalan *accessory gear*, bantalan turbin, bantalan *compress*or, bantalan *load gea*r, serta bantalan *generator* dengan menggunakan pompa utama pada putaran 600 rpm yang digerakkan oleh *accessory gear* pada saat unit sedang operasi, apabila unit sedang stop maka supply oli diambil alih oleh pompa ac pada putaran dibawah 550 rpm, sebelum menuju bantalan-bantalan tersebut oli terlebih dahulu didinginkan pada tabung *lube oil cooler* kemudian disaring menggunakan filter lalu kembali lagi ke tangki dan seterusnya secara kontinu. Selama *start up* berjalan, pompa pelumas beroperasi terlebih dahulu untuk menjaga agar pelumasan berjalan sempurna.Sistem *Lube Oli Cooler* dapat dilihat pada **Gambar 2.**



Gambar 2 Sistem *Lube Oil Coler*

2.3 Perhitungan Kinerja *Heat Exchanger*

Perhitungan yang digunakan dalam mencari efektivitas dari *Heat Exchanger* diantaranya adalah sebagai berikut.

a. Perhitungan laju perpindahan panas aktual
   Laju perpindahan panas aktual adalah laju panas yang dilepaskan oleh fluida panas atau yang diserap oleh fluida dingin,yang dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$Q_{act} = C_h\,(T_{h,in}-T_{c,in})$$

Atau

$$Q_{act} = C_c\,(T_{c,in}-T_{c,out})$$

Dimana

Q_{act} = Laju perpindahan panasa aktual (W)
C_h = Laju perpindahan panas fluida panas (W/^oC)
C_c = Laju perpindahan panas fluida dingin (W/^oC)
$T_{h,in}$ = Temperatur fluida panas masuk oli (^oC)
$T_{h,out}$ = Temperatur fluida panas keluar oli (^oC)
$T_{c,in}$ = Temperatur fluida panas masuk air (^oC)
$T_{c,out}$ = Temperatur fluida panas keluar air (^oC)

Selain itu perhitungan laju perpindahan panas aktual dapat di cari dengan persamaan.

$$Q_{act} = U.A_s.\Delta T_{LMTD}$$

Dimana

U =Koefisien perpindahan panas keseluruhan (W/m^{2o}C)
A_s =Luas permukaan yang mengalami perpindahan panas (m^2)
ΔT_{LMTD}= Perbedaan temperatur rata-rata logaritma/LMTD (^oC)

b. Perhitungan laju kapasitas panas
Untuk mempermudah menghitung laju perpindahan panas,dibutuhkan perhitungan laju kapasitas panas. Kapasitas panas dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$C_h = \dot{m}_h.cp$$

Atau

$$C_c = \dot{m}_c.cp_c$$

Dimana

Ch = Laju kapasitas fluida panas (W/oC)

Cc = Laju kapasitas fluida dingin (W/oC)

ṁh = Laju aliran massa fluida panas (kg/s)

ṁc = Laju aliran massa fluida dingin (kg/s)

c. Perhitungan laju perpindahan panas maksimal
Laju perpindahan panas maksimal adalah nilai laju perpindahan panas terbesar yang mungkin terjadi dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$Q_{max} = C_{min}\,(T_{h,in}-T_{c,in})$$

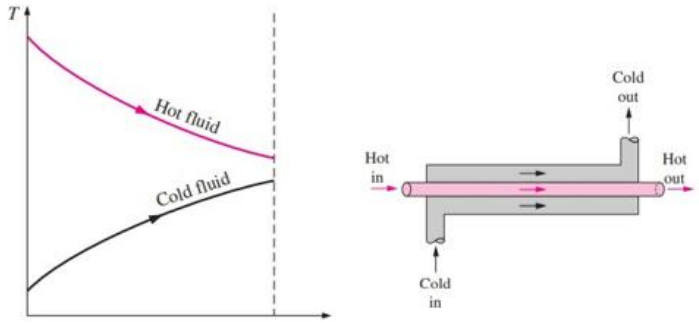
Dimana

Q_{max} = Laju perpindahan panas (w)
C_{min} = Nilai terkecil yang muncul diantara nilai C_h dan C_c (W/^oC)
$T_{h,in}$ = Temperatur fluida panas masuk oli (W/^oC)
$T_{c,in}$ = Temperatur fluida panas masuk air (W/^oC)

2.4 Klasifikasi Penukar Kalor Berdasarkan Susunan Aliran Fluida

Susunan aliran fluida bertujuan untuk menentukan beberapa kali fluida mengalir sepanjang penukaran kalor sejak saat masuk hingga meninggalkannya dan bagaimana arah aliran relatif antara kedua guida (apakah sejajar/parallel atau berlawanan arah/*counter*)[4].

a. Pertukaran Panas Dengan Aliran Searah (*Co-Current/Parallel Flow*)
yaitu apabila arah aliran dari kedua fluida di dalam penukar kalor adalah sejajar. Artinya kedua fluida masuk pada sisi yang satu dan keluar dari sisi yang lain mengalir dengan arah yang sama.. Pertukaran panas dengan aliran searah dapat dilihat pada Gambar 3



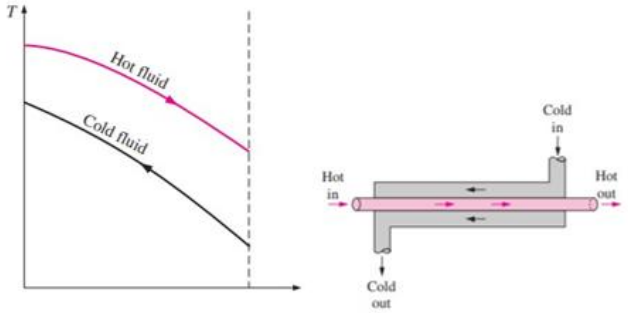
Gambar 3 Pertukaran panas dengan aliran searah (*co-current/parallel flow)*

Untuk menentukan nilai T_{LMTD} (*Log Mean Temperature Difference*) dinyatakan dalam persamaan tersebut.

$$T_{LMTD} = \frac{\left(\Delta T_{h,in} - \Delta T_{c,in}\right) - \left(\Delta T_{h,out} - \Delta T_{c,out}\right)}{ln\frac{\left(\Delta T_{h,in} - \Delta T_{c,in}\right)}{\left(\Delta T_{h,out} - \Delta T_{c,out}\right)}}$$

b. Pertukaran Panas Dengan Arah Aliran Berlawanan (*Counter Curren/Flow*)

kedua fluida mengalir dengan arah yang saling berlawanan dan pada sisi berlawanan.Pertukaran panas arah aliran berlawanan dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4 Pertukaran panas dengan aliran Berlawanan (*Counter Curren/Flow*)

Untuk menentukan nilai *LMTD (Log Mean Temperature Difference)* dinyatakan dengan persamaan berikut :

$$T_{LMTD} = \frac{\left(\Delta T_{h,in} - \Delta T_{c,out}\right) - \left(\Delta T_{h,out} - \Delta T_{c,in}\right)}{ln\frac{\left(\Delta T_{h,in} - \Delta T_{c,out}\right)}{\left(\Delta T_{h,out} - \Delta T_{c,in}\right)}}.$$

c. Nilai Efektivitas

Nilai efektivitas didefinisikan sebagai berikut :

$$\varepsilon_{HE} = \frac{Q\,act}{Q\,max} \times 100\%.$$

Dimana :

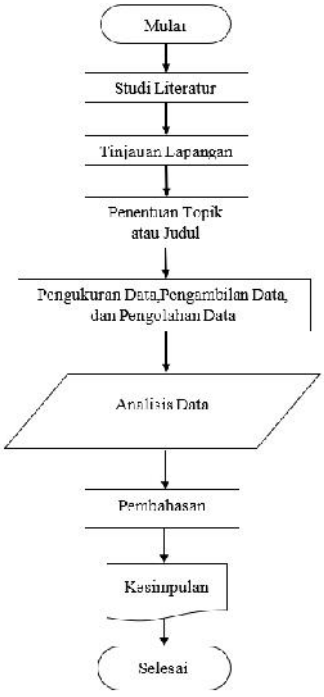
ε_{HE} = Efektifitas *Heat Exchanger* (%)

Q_{act} = Laju perpindahan panas aktual (W)

Q_{max}=laju perpindahan panas maksimum (W)

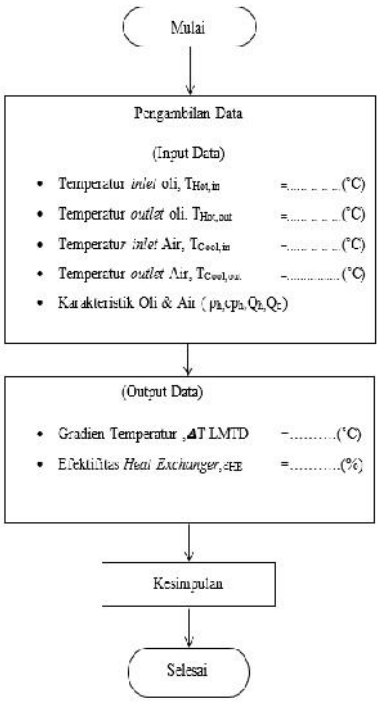
3. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini memiliki diagram alir sebagai berikut:



Gambar 5 Diagram Alir

Untuk diagram alir perhitungan dari kinerja *lube oil cooler* yang digunakan yaitu.



Gambar 6 Diagram Alir Perhitungan

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengumpulan Data

Tahap yang pertama yaitu dengan mengumpulkan data *in* dan *out* dari oli dengan air yang masuk dari *lube oil cooler*. Pada proses yang telah diamati terdapat data hasil operasi *lube oil cooler* sebelum dan sesudah dilakukan *maintenace outage,* seperti ditampilkan pada Tabel 1 dan 2.

Tabel 1. Data hasil operasi *lube oil cooler* sebelum *maintenance outage*

No	Waktu Operasi	$T_{hot,in}$ Inlet Oli °C	$T_{hot,out}$ Outlet Oli °C	$T_{cool,in}$ inlet Air °C	$T_{cool,out}$ Outlet Air °C
1	12/07/2021	59	47	36	40
2	13/07/2021	55	46	36	38
3	14/07/2021	56	47	36	37
4	15/07/2021	57	48	36	37
5	16/07/2021	60	48	36	38
6	17/07/2021	62	46	38	39
7	18/07/2021	65	48	36	39

Tabel 2. Data hasil operasi *lube oil cooler* sesudah *maintenance outage*

No	Waktu Operasi	$T_{ho;,in}$ Inlet Oli °C	$T_{hot,out}$ Outlet Oli °C	$T_{cool,in}$ inlet Air °C	$T_{cocl,out}$ Outlet Air °C
1	02/08/2021	51	42	36	38
2	03/08/2021	52	43	36	38
3	04/08/2021	52	44	35	38
4	05/08/2021	53	43	36	38
5	06/08/2021	55	44	36	39
6	07/08/2021	55	42	35	37
7	08/08/2021	54	41	36	38

4.2 Perhitungan Kinerja

a. Perhitungan Nilai LMTD

Nilai LMTD atau perbandingan logaritmatik pertukaran panas yang di gunakan yaitu dengan aliran tipe berlawanan (*counter curren/flow*), yaitu :

$$T_{LMTD} = \frac{\left(\Delta T_{h,in} - \Delta T_{c,out}\right) - \left(\Delta T_{h,out} - \Delta T_{c,in}\right)}{ln\frac{(\Delta T_{h,in} - \Delta T_{c,out})}{(\Delta T_{h,out} - \Delta T_{c,in})}}$$

$$T_{LMTD} = \frac{(51°C - 38°C) - (42°C - 36°C)}{ln\frac{(51°C - 38°C)}{(42°C - 36°C)}}$$

$$T_{LMTD} = \frac{7°C}{0,772}$$

T_{LMTD} = 9,05 °C

b. Perhitungan Data Instalasi

Perhitungan data instalasi menggunakan data yang telah di dapatkan dari karakteristik fluida yang di gunakan, yaitu :

1. Menghitung Laju Aliran Massa Oli

Untuk menghitung laju aliran masa oli, yaitu :

$\dot{m} = \rho_h \times q_h$

$= 885{,}8 \frac{kg}{m^3} \times 0{,}000167 \frac{m^3}{s}$

$= 0{,}1479 \frac{kg}{s}$

2. Menghitung Laju Aliran Massa Air

Untuk menghitung laju aliran masa air, yaitu :

$\dot{m} = \rho_c \times q_c$

$= 997{,}6 \frac{kg}{m^3} \times 0{,}0000833 \frac{m^3}{s}$

$= 0{,}0831 \frac{kg}{s}$

3. **Menghitung Kapasitas Panas Minyak Pelumas**

Untuk menghitung dari kapasitas panas minyak pelumas, yaitu :

$C_h = \dot{m}_h . Cp_h$

$= 0{,}1479 \frac{kg}{s} \times 2{,}001 \frac{kJ}{kg°C}$

$= 0{,}29594 \frac{kJ}{°C}$

$= 295{,}94 \frac{W}{°C}$

4. **Menghitung Kapasitas Panas Air**

Untuk menghitung dari kapasitas panas air, yaitu :

$C_c = \dot{m}_c . Cp_c$

$= 0{,}0831 \frac{kg}{s} \times 4{,}187 \frac{kJ}{kg°C}$

$= 0{,}34793 \frac{kJ}{°C}$

$= 347{,}93 \frac{W}{°C}$

5. **Laju kapasitas panas minimum,C_{min}**

Dari hasil yang telah di dapatkan nilai $C_h < C_c$

Maka :

$C_{min} = C_h = 295{,}9479 \frac{W}{°C}$

c. Perhitungan data Operasi dan kinerja

Pada data operasi dan kinerja yang telah di dapatkan maka akan dihitung dari laju perpindahan panas yang telah ada, untuk mendapatkan nilai efektifitas dari *heat exchanger*, yaitu :

1. **Perhitungan Q_{max}**

Laju perpindahan panas maksimal merupakan nilai perpindahan panas yang terbesar yang mungkin terjadi pada *heat exchanger,* yaitu.

$Q_{max} = C_{min} (T_{h,in} - T_{c,in})$

$= 295{,}94 \frac{W}{°C} (51\,^{o}C - 36\,^{o}C)$

$= 4439{,}10\ W$

2. **Perhitungan Q_{act}**

Laju perpindahan panas aktual yaitu panas yang dilepas dari fluida panas atau diserap oleh fluidaa dingin, yaitu :

$Q_{act} = C_h (T_{h,in} - T_{h,out})$

$= 295{,}9479 \frac{W}{°C} (51\,^{o}C - 36\,^{o}C)$

$= 2663{,}53\ W$

3. **Perhitungan ε_{HE}**

Eektifitas kinerja dari *heat exchanger* yang di dapatkan, yaitu :

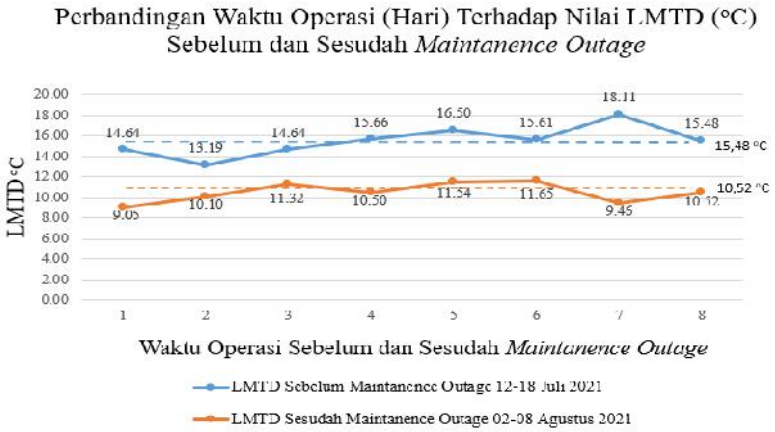
$\varepsilon_{HE} = \frac{Qact}{Qmax} \times 100\%$

$\varepsilon_{HE} = \frac{2663{,}53\ W}{4439{,}20\ W} \times 100\%$

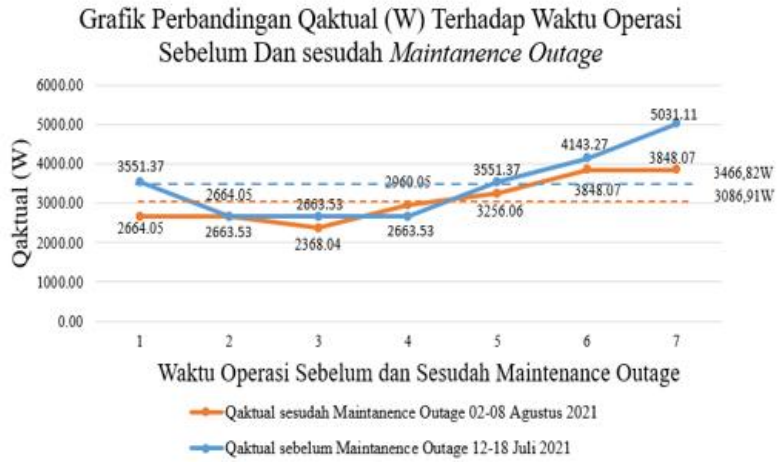
$\varepsilon_{HE} = 60{,}00\ \%$

4.3 Data Hasil Perhitungan

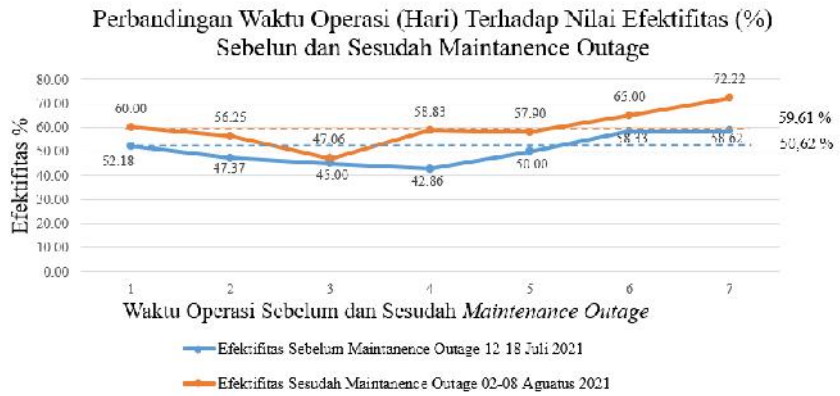
Data hasil perhitungan temperatur LMTD, Qaktual (W) dan efektifitas HE sebelum dan sesudah dilakukan *Maintenace Outage* dapat dilihat pada Gambar 7-9.



Gambar 7. Perbandingan Waktu Operasi (Hari) Dengan Nilai LMTD (^{o}C)



Gambar 8 Grafik Perbandingan Qaktual (W) Dengan Waktu Operasi (Hari)



Gambar 9 Grafik Perbandingan Waktu Operasi (Hari) Dengan Nilai Efektifitas (%)

Pada Gambar 7 didapatkan grafik nilai rata-rata LMTD, yaitu pada kondisi sebelum *maintenance outage* sebesar 15,48 ^{o}C, sedangkan ketika pada kondisi sesudah dilakukan *maintenance outage* sebesar 10,52 ^{o}C.

Pada Gambar 8 didapatkan nilai rata-rata antara Qaktual (laju perpindahan panas aktual) sebelum *maintenance outage* sebesar 3466,82 W, sedangkan pada kondisi setelah di lakukan *maintenance outage* sebesar 3086,91 W.

Pada Gambar 9 antara grafik perbandingan waktu operasi (hari) dengan nilai efektifitas (%) didapatkan nilai rata-rata pada kondisi sebelum *maintenance outage* sebesar 50,62 %,ketika sesudah dilakukan *maintenance outage* nilainya naik yaitu sebesar 59,61 %. Dari perbandingan antara sebelum dan sesudah

dilakukan *maintenance outage* terdapat kenaikan nilai efektifitas yaitu 8,99 %*,* sehingga dapat disimpulkan bahwa pada kondisi setelah dilakukan *maintenance outage* akan terjadi penurunan dari nilai LMTD dan laju perpindahan panas aktual, sehingga pada kondisi ini akan membuat nilai efektifitas tinggi sehingga kinerja yang baik dapat di ketahui yaitu pada kondisi setelah dilakukan *maintenance outage.*

4.2 Pembahasan

Lube oil cooler merupakan *heat exchannger tipe circular tubes*, yang berfungsi sebagai pendingin oli, dengan air sebagai media pendinginannya. Sebelumnya oli berada pada penampungan oli atau *main oil tank*. Sebelum melakukan sirkulasi, oli tersebut akan di dinginkan terlebih dahulu di *heat exchanger* (alat penukar panas). Dalam pendinginan ini oli di dinginkan menggunakan media air yang mengalir melalui cubing-cubing di dalam *shell*, setelah melewati tube tersebut kemudian oli keluar. Pada *heat exchannger* ini akan membahas tentang panas dari sistem ke sistem lain, dimana akan mendapatkan perbandingan antara dua data yang berbeda dimana sangat mempengaruhi kinerja dari *lube oil cooler* tersebut.

Data yang digunakan yaitu 7 hari sebelum dan sesudah dilakuakan *maintenance outage* yaitu tanggal 12 juli 2021 sampai 18 juli 2021 dan 02 agustus 2021 sampai 08 agustus 2021 ,data yang di ambil benar-benar data oprasi sebelum dan sesudah *maintenance outage* dengan melihat di ruang *control room*.

Hasil perhitungan sebelum dilakukan *maintenace outage*, yaitu nilai temperatur LMTD terkecil yang didapatkan sebesar 13,19 ^{0}C dan nilai terbesar sebesar 18,11 ^{0}C dengan nilai rata-rata 15,48 ^{0}C. Data hasil perhitungan sesudah dilakukan *maintenance outage*, nilai perhitungan temperatur LMTD terkecil yang didapatkan sebesar 9,05 ^{0}C dan nilai terbesar sebesar 11,32^{0}C dengan nilai rata-rata 10,52 ^{0}C. Pada hasil perhitungan sebelum dilakukan *maintenace outage*, yaitu efektifitas terkecil didapatkan sebesar 42,86 % dan nilai terbesar sebesar 58,62 % dengan nilai rata-rata sebesar 50,62 %.Data hasil perhitungan nilai efektifitas sesudah *maintenance outage* didapatkan nilai terkecil yaitu sebesar 47,06 % dan nilai terbesar 72,22 % dengan nilai rata-rata sebesar 59,61 %.

Dari hasil perhitungan yang telah didapatkan, yaitu antara nilai temperatur LMTD dengan nilai efektifitas. Jika nilai LMTD turun maka akan terjadi kenaikan pada nilai efektifitas dimana sangat mempengaruhi kinerja dari *lube oil cooler* tersebut dan sebaliknya jika nilai temperatur LMTD naik maka terjadi penurunan pada nilai efektifitas sehingga kinerja juga akan menurun, biasanya ini di sebabkan dari kualitas oli,mesin yang sering beroprasi,dan terjadi penyumbatan pada *filter* tersebut sehingga terjadi penurunan pada kinerjanya. Oleh karena itu, perlu adanya perbaikan dan pembersihan pada *filter* jika sudah mendapatkan perbandingan nilai yang konstan.

5. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dihasilkan dari pengamatan di PLTGU keramasan unit 2 adalah sebagai berikut:

1. Perawatan sangat membantu untuk meningkatkan penyerapan panas pada *lube oil cooler* dikarenakan pada saat sebelum dilakukan *maintanace outage* nilai LMTD nya adalah 15,48 °C sedangkan setelah dilakukan perawatan nilai LMTD turun menjadi 10,52 °C.
2. Dari data yang telah di dapatkan nilai efektifitas sebelum dilakukan *maintenace outage* sebesar 50,62 %, sedangkan ketika sesudah dilakukan *maintenace outage* nilai rata-rata naik sebesar 59,61%. Sehingga kinerja yang baik yaitu pada kondisi sesudah dilakukannya *maintenace outage.*

6. DAFTAR PUSTAKA

[1] Ramadhani, R. R., 2017 , Sektor, Penggunaan Sensor Vibrasi Sebagai Pendeteksi Getaran dan Pengaman Turbin di Pltg - 3 PT. PLN (Persero) Sektor Pengendalian Pembangkitan Keramasan, Laporan Kerja Praktek, Politeknik Negeri Sriwijaya, Palembang.

[2] Sihombing, F., Karnoto, dan Winardi, B., 2015, Tenaga Uap Studi Kasus PT . PLN Pembangkitan Tanjung Jati," *Transient*, Vol. 4, No. 4.

[3] Gusnita, N. dan Said, K. S., 2017, Analisa Efisiensi dan Pemanfaatan Gas Buang Turbin Gas Alsthom Pada Pembangkit Listrik Tenaga Gas Kapasitas 20 Mw, Vol. 14, No. 2, 209–218.

[4] Holman, J. P., 2009, Heat Transfer, Tenth Edition, McGraw-Hill Series in Mechanical Engineering.