

Analisa Efektivitas Oil Cooler Unit 2 PLTA Sutami Sebelum dan Sesudah Maintenance pada Beban 30 MW

Muhammad Ainur Rofiq, I Nyoman Suprpta Winaya dan Ketut Astawa
Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran, Badung,
Bali, 80361

Abstrak

PLTA Sutami merupakan salah satu unit pembangkit listrik, dimana dalam pengoperasiannya memanfaatkan waduk bendungan Karangates yang memperoleh aliran air dari Sungai Brantas. Guna menjaga keandalannya, PLTA Sutami harus ditunjang dengan peralatan-peralatan bantu yang dapat bekerja secara maksimal, yakni antara lain adalah oil cooler. Oil cooler memiliki pengaruh terhadap efisiensi pembangkit listrik itu sendiri. Semakin tinggi efektivitas oil cooler maka berbanding lurus dengan keandalan pembangkit listrik tersebut. Oil cooler di PLTA Sutami merupakan sebuah heat exchanger dengan tipe shell and tube yang berfungsi sebagai alat penukar kalor, dimana alat ini akan menyerap kalor dari lubricating oil melalui media pendinginan air. Penelitian ini bertujuan menganalisis efektivitas oil cooler Unit 2 PLTA Sutami sebelum dan sesudah maintenance pada beban 30 MW. Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan, perubahan nilai yang terjadi pada T_{LMTD} dan NTU mempengaruhi nilai efektivitas oil cooler. Efektivitas oil cooler mengalami kenaikan sebesar 3,68% dari 67,84% pada kondisi sebelum maintenance menjadi 71,52% pada kondisi sesudah maintenance.

Kata kunci : efektivitas, oil cooler, heat exchanger, maintenance.

Abstract

The Sutami Hydroelectric Power Plant is one of the power generation units, which in its operation utilizes the Karangates dam reservoir which receives water from the Brantas River. In order to maintain its reliability, PLTA Sutami must be supported with supporting equipment that can work optimally, which includes an oil cooler. Oil cooler has an influence on the efficiency of the power plant itself. The higher effectiveness of the oil cooler is directly proportional to the reliability of the power plant. The oil cooler in Sutami Hydroelectric Power Plant is a heat exchanger with a shell and tube type that functions as a heat exchanger, where it absorbs heat from lubricating oil through a water cooling medium. This study aims to analyze the effectiveness of the Sutami Hydroelectric Unit 2 oil cooler before and after maintenance at a load of 30 MW. Based on the results of the analysis conducted, changes in value that occur in T_{LMTD} and NTU affect the effectiveness of the oil cooler. The effectiveness of the oil cooler increased by 3.68% from 67.84% in the pre-maintenance condition to 71.52% in the after-maintenance condition.

Keywords : effectiveness, oil cooler, heat exchanger, maintenance.

1. Pendahuluan

Seiring perkembangan zaman yang begitu dinamis, energi listrik telah menjadi kebutuhan primer dalam menjalani kehidupan. Hampir di semua aspek kehidupan manusia memerlukan energi listrik untuk menunjang aktifitasnya baik itu di perkantoran, rumah tangga, dan perindustrian. Semakin hari semakin banyak industri-industri baru berdiri yang memerlukan suplai energi listrik dalam pengoperasiannya sehingga mengakibatkan kebutuhan akan konsumsi energi listrik terus meningkat setiap tahunnya yakni sekitar 6% [1]. Maka dari itu, diperlukan pembangkit - pembangkit listrik baru yang handal untuk menyuplai kebutuhan energi listrik nasional.

Indonesia memiliki cadangan hutan tropis melimpah karena terletak pada garis khatulistiwa yang menyediakan sumber air sepanjang tahun. Air mengalir tersebut merupakan sumber energi yang dapat dimanfaatkan untuk diubah menjadi energi

listrik. Melihat besarnya manfaat penggunaan energi listrik pada satu sisi merupakan hal yang menggembirakan, hal itu dibuktikan dengan meningkatnya tingkat elektrifikasi masyarakat yang sampai pada tahun 2017 sebesar 95,35 % [2]. Namun pada sisi lain tingginya tingkat kebutuhan akan energi listrik yang tidak seimbang dengan kapasitas pembangkitan akan menyebabkan masalah tersendiri. Minimnya pembangkit listrik di tanah air khususnya di daerah yang belum terjangkau oleh listrik merupakan kewajiban pemerintah untuk menanganinya maka dalam hal ini PT. Perusahaan Listrik Negara (PT. PLN) sebagai penanggung jawab ketenagalistrikan nasional berdasarkan amanah UUD Republik Indonesia Tahun 1945 (pasal 33 ayat 2), pemerintah terus berupaya mencukupi kebutuhan listrik nasional dengan melakukan berbagai inovasi guna memenuhi kebutuhan masyarakat kini dan masa mendatang.

Pengembangan sumber-sumber energi baru terbarukan potensinya cukup besar, namun pemanfaatannya belum maksimal yakni baru sekitar 12,05 % dari kapasitas terpasang pembangkit tenaga listrik nasional yang sebesar 60.789,98 MW [2]. Maka dari itu penggunaan bahan bakar fosil untuk sektor pembangkitan alangkah lebih bijak jika dikurangi penggunaannya guna mengantisipasi semakin terbatasnya cadangan energi fosil nasional dan untuk menjaga kualitas lingkungan. Pemerintah menargetkan capaian EBT mencapai 23% pada tahun 2025 guna mencapai target itu pemerintah akan gencar membangun pembangkit – pembangkit listrik yang berbasis EBT [1] yang diantaranya yaitu PLTA (Pembangkit Listrik Tenaga Air).

Pembangkit listrik tenaga air banyak dikembangkan di Indonesia, salah satunya PLTA Sutami yang terletak di desa Karangates, Kabupaten Malang. PLTA Sutami merupakan suatu pembangkit listrik tenaga air yang memanfaatkan waduk bendungan Karangates yang memperoleh aliran air dari Sungai Brantas. PLTA Sutami memiliki kapasitas pembangkitan terpasang sebesar 105 MW menjadikannya sebagai pembangkit listrik tenaga air dengan daya pembangkitan terbesar di area Jawa Timur, oleh karena itu PLTA Sutami memiliki tugas sebagai penyangga beban untuk area Jawa Timur khususnya bagian selatan. Mengingat peran vital yang diemban, hal ini mengharuskan PLTA Sutami selalu pada kondisi siap beroperasi kapanpun. Dalam menjaga kehandalan unit pembangkitan agar siap dioperasikan kapanpun, maka diperlukan peralatan-peralatan bantu yang handal untuk pengoperasiannya yang antara lain adalah *oil cooler*.

Oil cooler memiliki pengaruh terhadap efisiensi pembangkit listrik itu sendiri [3]. Semakin tinggi efektivitas *oil cooler* maka akan semakin tinggi pula kehandalan unit pembangkit listrik tersebut [4] dan akan berdampak juga pada semakin rendahnya biaya operasional perawatan yang diperlukan unit tersebut [5]. *Oil cooler* merupakan peralatan yang berfungsi sebagai alat penukar kalor. Alat ini akan menyerap kalor dari *lubricating oil* melalui media pendinginan air. Peralatan ini merupakan sebuah *heat exchanger* yang bertipe *shell and tube*.

Berdasarkan latar belakang di atas, maka rumusan masalah yang akan dibahas penulis dalam penelitian ini yaitu bagaimana analisa efektivitas *oil cooler* sebelum dan sesudah *maintenance* pada beban 30 MW di PLTA Sutami PT. PJB UP Brantas.

Adapun Batasan masalah pada penelitian ini yakni, sebagai berikut :

- Penelitian dilakukan di Pusat Listrik Tenaga Air (PLTA) Sutami, PT. Pembangkitan Jawa Bali (PJB) Unit Pembangkitan Brantas.

- Perhitungan efektivitas *oil cooler* menggunakan metode NTU.
- Perbandingan yang dilakukan pada saat pengoperasian satu unit yaitu unit 2 dari 3 unit pada kondisi beban 30 MW yang ada di PLTA Sutami.

2. Dasar Teori

2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA)

Menurut Raja et al, (2006) PLTA merupakan pembangkit listrik yang memanfaatkan energi baru terbarukan berupa air sebagai bahan baku penghasil energi listrik. Energi listrik diperoleh melalui proses konversi energi dari air, yang mana diawali dengan mengonversi energi potensial air (ketika air ditampung pada suatu tempat dengan ketinggian tertentu) menjadi energi kinetik (ketika air dialirkan menuju unit pembangkitan) lalu energi kinetik air dikonversi menjadi energi mekanik ketika air tersebut menumbuk runner turbin hingga membuatnya berputar, yang mana putaran tersebut diteruskan menuju generator (melalui poros turbin) untuk dikonversi menjadi energi listrik. Arismunandar & Kuwahara (2004) menambahkan jika energi listrik yang dihasilkan PLTA bergantung pada dua hal, yaitu ketinggian dan kuantitas dari aliran air.

2.2 Alat Penukar Kalor (*Heat Exchanger*)

Heat exchanger adalah peralatan yang menerapkan prinsip perpindahan panas yang digunakan untuk mentransferkan kalor antar dua fluida atau lebih. Kebanyakan *heat exchanger*, fluida-fluida kerjanya dipisah oleh permukaan diantara kedua fluida tersebut dan biasanya fluidanya tidak bercampur [8]. Heat exchanger telah banyak digunakan di industri kimia, pembangkitan, perminyakan, transportasi, pengkondisian udara, pendingin, kriogenik, *heat recovery*, bahan bakar alternatif, dan industri lainnya. Sebagai contoh, *heat exchanger* yang familiar di kehidupan sehari-hari adalah radiator mobil, *condenser*, *evaporator*, air *preheater*, dan *oil cooler*. *Heat exchanger* dapat digolongkan berdasarkan fungsi, konstruksi dan lain-lain [9].

2.3 *Shell and Tube*

Alat penukar kalor ini merupakan jenis APK yang menurut konstruksinya dapat dicirikan dengan adanya kumpulan beberapa *tube* yang dipasang di dalam sebuah *shell* yang berbentuk silinder dimana terdapat dua jenis fluida yang bertukar kalor dengan mengalir secara terpisah [10].

2.4 Teori Perpindahan Panas

Ada tiga cara perpindahan panas, yaitu secara konduksi, konveksi dan radiasi

2.4.1 Konduksi

Perpindahan panas konduksi adalah suatu proses mengalirnya energi panas dari yang mempunyai suhu tinggi ke suhu lebih rendah, dan perpindahan energinya terjadi karena kontak molekul secara langsung tanpa adanya perpindahan molekul itu sendiri dan biasanya terjadi pada benda padat.

Persamaan perpindahan panas secara konduksi dituliskan sebagai berikut [11] :

$$q_{\text{konduksi}} = -k \cdot A \cdot \frac{dT}{dx} \dots\dots\dots(1)$$

2.4.2 Konveksi

Perpindahan panas secara konveksi terjadi bila ada perbedaan temperatur yang terjadi diantara permukaan benda padat dengan zat cair atau gas. Perpindahan panas konveksi adalah proses perpindahan panas yang diikuti dengan aliran massa. Perpindahan panas konveksi dapat dibedakan menjadi dua, yakni perpindahan konveksi bebas dan perpindahan konveksi paksa. Konveksi bebas terjadi apabila perpindahan panas berlangsung secara alamiah yang disebabkan karena perbedaan massa jenis cairan akibat pemanasan, sehingga pada fluida tersebut terjadi sirkulasi molekul. Perpindahan panas konveksi paksa terjadi karena adanya pemaksaan pergerakan molekul, seperti : pemompaan atau pengipasan [11].

$$q_{\text{konveksi}} = h \cdot A \cdot T \dots\dots\dots(2)$$

2.4.3 Radiasi

Perpindahan panas secara radiasi adalah proses mengalirnya energi panas dari benda bersuhu tinggi menuju benda bersuhu rendah, yang terjadi di ruang hampa maupun bermedium. Perpindahan panas secara radiasi terjadi dengan cara pancaran gelombang elektromagnetik. Laju pancaran panas radiasi dapat ditulis sebagai berikut [11] :

$$q_{\text{radiasi}} = \delta \cdot \tau \cdot A \cdot (\Delta T)^4 \dots\dots\dots(3)$$

2.5 Laju Aliran Massa Fluida (ṁ)

Laju aliran massa adalah massa suatu substansi yang mengalir per satuan waktu. Nilai laju aliran massa sendiri dipengaruhi oleh densitas fluida serta debit/laju alir fluida.

$$= \rho \times Q \dots\dots\dots(4)$$

2.6 Beda Temperatur Rata - Rata Logaritma (ΔT_{LMTD})

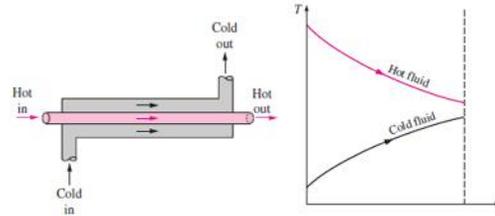
T_{LMTD} digunakan untuk menentukan nilai perbedaan temperatur yang terjadi pada APK [12].

Nilai T_{LMTD} juga digunakan untuk menghitung laju perpindahan panas dengan:

$$q = U \cdot A \cdot (T_{LMTD}) \dots\dots\dots(5)$$

Adapun nilai ΔT_{LMTD} dibedakan menjadi dua yaitu:

a) Aliran searah



Gambar 1. Alat Penukar Kalor dengan aliran Searah. (Cengel, 2015)

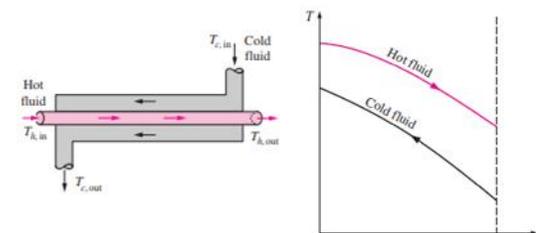
Untuk aliran searah, nilai T_1 adalah selisih temperatur masuk fluida panas dan fluida dingin. Sedangkan T_2 adalah selisih temperatur keluar fluida panas dan fluida dingin [14].

$$\begin{cases} T_1 = T_{h,1} - T_{c,1} = T_{h,i} - T_{c,i} \\ T_2 = T_{h,2} - T_{c,2} = T_{h,o} - T_{c,o} \end{cases} \dots\dots\dots(6)$$

Sehingga nilai ΔT_{LMTD} untuk aliran searah:

$$T_{LMTD} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln(\Delta T_2 / \Delta T_1)} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln(\Delta T_1 / \Delta T_2)} \dots\dots\dots(7)$$

b) Aliran berlawanan arah



Gambar 2. Alat Penukar Kalor dengan aliran Berlawanan Arah. (Cengel, 2015)

Untuk aliran berlawanan arah, nilai T_1 adalah selisih dari temperatur masuk fluida panas dan temperatur keluar fluida dingin. Sedangkan T_2 adalah selisih dari temperatur keluar fluida panas dan temperatur masuk fluida dingin [14].

$$\begin{cases} T_1 = T_{h,1} - T_{c,2} = T_{h,i} - T_{c,o} \\ T_2 = T_{h,2} - T_{c,1} = T_{h,o} - T_{c,i} \end{cases} \dots\dots\dots(8)$$

Sehingga nilai ΔT_{LMTD} untuk aliran berlawanan:

$$T_{LMTD} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln(\Delta T_2 / \Delta T_1)} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln(\Delta T_1 / \Delta T_2)} \dots\dots\dots(9)$$

2.7 Analisa Alat Penukar Kalor dengan Metode NTU-Efektivitas

Efektivitas *heat exchanger* didefinisikan sebagai perbandingan antara laju perpindahan panas aktual dengan laju perpindahan panas maksimum yang dapat dilakukan. Untuk itu, kita perlu menghitung nilai laju perpindahan panas aktual (*q*) dan laju perpindahan panas maksimum yang mungkin dilakukan (*q_{max}*). Pertama, kita menghitung nilai laju kapasitas kalor (*C*) [14]:

$$C = c_p \times \dots\dots\dots (10)$$

Untuk nilai laju kapasitas kalor *C_C* < *C_h*, maka nilai laju perpindahan panas maksimum yang dapat dilakukan:

$$q_{max} = C_C(T_{h,i} - T_{c,i}) \dots\dots\dots (11)$$

Apabila nilai laju kapasitas kalor *C_h* < *C_C*, maka nilai laju perpindahan panas maksimum yang dapat dilakukan:

$$q_{max} = C_h(T_{h,i} - T_{c,i}) \dots\dots\dots (12)$$

Atau dengan pemisalan *C_{min}* merupakan nilai laju kapasitas kalor paling kecil antara *C_C* (fluida dingin) dan *C_h* (fluida panas), maka dapat disederhanakan menjadi:

$$q_{max} = C_{min}(T_{h,i} - T_{c,i}) \dots\dots\dots (13)$$

Sedangkan untuk menghitung nilai laju perpindahan panas aktual *heat exchanger*, dihitung dengan:

$$q = q_c = q_h = C_C(T_{c,o} - T_{c,i}) = C_h(T_{h,i} - T_{h,o}) \dots\dots\dots (14)$$

Kemudian, untuk menghitung nilai efektivitas *heat exchanger* diperoleh:

$$\epsilon = \frac{q}{q_{max}} \dots\dots\dots (15)$$

$$\epsilon = \frac{C_h(T_{h,i} - T_{h,o})}{C_{min}(T_{h,i} - T_{c,i})} \text{ atau } \epsilon = \frac{C_C(T_{c,o} - T_{c,i})}{C_{min}(T_{h,i} - T_{c,i})} \dots\dots\dots (16)$$

Efektivitas *heat exchanger* dapat juga dibuat dalam fungsi rasio kapasitas kalor dan NTU:

$$\epsilon = f(NTU, C) = f\left(NTU \frac{C_{min}}{C_{max}}\right) \dots\dots\dots (17)$$

Untuk menghitung jumlah satuan perpindahan panas (NTU), kita gunakan:

$$NTU = \frac{UA}{C_{min}} = \frac{UA}{(c_p)_{min}} = \frac{UA}{C_{min}} \dots\dots\dots (18)$$

Dengan nilai koefisien perpindahan panas menyeluruh sebagai berikut:

Tabel 1. Nilai Koefisien Perpindahan Panas Menyeluruh. [14]

Type of heat exchanger	U, W/m ² · °C*
Water-to-water	850–1700
Water-to-oil	100–350
Water-to-gasoline or kerosene	300–1000
Feedwater heaters	1000–8500
Steam-to-light fuel oil	200–400
Steam-to-heavy fuel oil	50–200
Steam condenser	1000–6000
Freon condenser (water cooled)	300–1000
Ammonia condenser (water cooled)	800–1400
Alcohol condensers (water cooled)	250–700
Gas-to-gas	10–40
Water-to-air in finned tubes (water in tubes)	30–60†
	400–850†
Steam-to-air in finned tubes (steam in tubes)	30–300†
	400–4000†

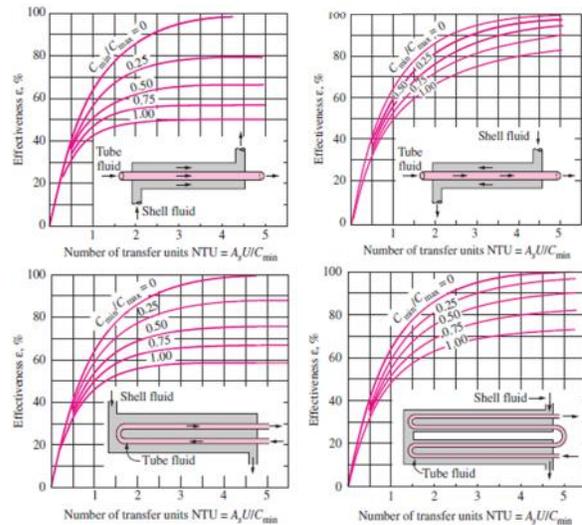
Persamaan-persamaan untuk menghitung efektivitas dengan metode NTU :

Tabel 2. Persamaan – persamaan menghitung efektivitas dengan metode NTU. [14]

Dengan nilai *C_r* = *C_{min}*/*C_{max}*

Flow Arrangement	Relation	
Parallel ow	$\epsilon = \frac{1 - \exp[-NTU(1 + C_r)]}{1 + C_r}$	(11.28a)
Counterow	$\epsilon = \frac{1 - \exp[-NTU(1 - C_r)]}{1 - C_r \exp[-NTU(1 - C_r)]}$	(C _r < 1)
	$\epsilon = \frac{NTU}{1 + NTU}$	(C _r = 1)
Shell-and-tube		
One shell pass (2, 4, ... tube passes)	$\epsilon_1 = 2 \left[1 + C_r + (1 + C_r)^2 \times \frac{1 + \exp[-(NTU)(1 + C_r)^2]}{1 - \exp[-(NTU)(1 + C_r)^2]} \right]^{-1}$	(11.30a)
n shell passes (2n, 4n, ... tube passes)	$\epsilon = \left[\left(\frac{1 - \epsilon_1 C_r}{1 - \epsilon_1} \right)^n - 1 \right] \left[\left(\frac{1 - \epsilon_1 C_r}{1 - \epsilon_1} \right)^n + C_r \right]^{-1}$	(11.31a)
Cross-ow (single pass)		
Both fluids unmixed	$\epsilon = 1 - \exp \left[\left(\frac{1}{C_r} \right) (NTU)^{0.22} \left(\exp[-C_r(NTU)^{0.78}] - 1 \right) \right]$	(11.32)
<i>C_{min}</i> (mixed), <i>C_{max}</i> (unmixed)	$\epsilon = \left(\frac{1}{C_r} \right) (1 - \exp[-C_r(1 - \exp(-NTU))])$	(11.33a)
<i>C_{min}</i> (mixed), <i>C_{max}</i> (unmixed)	$\epsilon = 1 - \exp(-C_r(1 - \exp(-NTU)))$	(11.34a)
All exchangers (C _r = 0)	$\epsilon = 1 - \exp(-NTU)$	(11.35a)

Grafik-grafik untuk menentukan efektivitas *heat exchanger* dengan hubungan *C_r* dan NTU :



Gambar 3. Macam Grafik untuk menentukan efektivitas APK dengan C_r dan NTU. [14]

3. Metode Penelitian

3.1 Deskripsi Penelitian

Penelitian ini mengkaji secara analisis pengaruh kondisi unit ketika sebelum dan sesudah *maintenance* pada beban 30 MW di PLTA Sutami. Dimana analisa yang dilakukan menggunakan perhitungan perpindahan panas pada *oil cooler* yang bertipe *shell and tube* dengan fluida pendingin air dan fluida yang didinginkanya berupa *oil*. Dimana untuk mengetahui dan menganalisa nilai efektivitas dari sebuah alat

penukar kalor yakni dengan menggunakan metode NTU.

Data-data yang dibutuhkan untuk perhitungan efektivitas oil cooler, diperoleh dari data operasi PLTA Sutami.

3.2 Penggolongan Jenis Data

3.2.1 Data Primer

Data operasi ini berasal dari hasil pengukuran dan observasi lapangan yang dilakukan di PLTA Sutami, Unit Pembangkitan Brantas – PT.PJB.



Gambar 4. Pengamatan data operasi pada computer di Control Room

3.2.2 Data Sekunder

Data yang didapatkan dari referensi pustaka yang berupa buku, jurnal, artikel, maupun data laporan tahunan dari unit pembangkitan yang berhubungan dengan materi laporan.

3.3 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari *Thermocouple*, *Pressure Gage*, dan *Flow Meter* yang di terletak di bagian objek yang akan diteliti. Alat dan bahan utama tersebut telah terkoneksi oleh sistem *SCADA*. *SCADA* sendiri singkatan dari *Supervisory Control and Data Acquisition* yang merupakan sistem kendali industri berbasis komputer yang dipakai untuk pengontrolan proses. Dari seperangkat sistem *SCADA* tersebut kemudian akan diperoleh nilai besaran-besaran dalam menentukan nilai dari alat-alat yang terpasang pada objek tersebut. Selain itu, aplikasi *Microsoft Excel* digunakan untuk mengolah data perhitungan efektivitas.

3.4 Prosedur Penelitian

Hasil analisa lapangan berdasarkan studi pembelajaran dari berbagai sumber jurnal/laporan, serta bimbingan dari dosen pembimbing dan pembimbing lapangan. Adapun urutan perhitungan proses analisa adalah sebagai berikut :

- Menentukan spesifikasi jenis alat penukar kalor yang akan diteliti.
- Mengambil data temperatur masuk dan keluar air pada *oil cooler*.

- Mengambil data temperatur masuk dan keluar *oil* pada *oil cooler*.
- Mengambil data debit (Q) air dan *oil* pada *oil cooler*.
- Menghitung laju aliran massa fluida (\dot{m}) pada *oil cooler*.
- Menghitung panas jenis fluida (c_p) yang digunakan yakni air dan *oil*.
- Menghitung beda temperatur rata-rata logaritma (T_{LMTD}) pada *oil cooler*.
- Menentukan nilai koefisien perpindahan panas menyeluruh (U) pada *oil cooler*.
- Menghitung laju kapasitas kalor fluida dingin (C_c) dan fluida panas (C_h) pada *oil cooler*.
- Menentukan nilai C_{min} dan C_{max} .
- Menghitung perbandingan laju kapasitas kalor (C_r) pada *oil cooler*.
- Menghitung nilai NTU pada *oil cooler*.
- Menghitung nilai efektivitas *oil cooler*.
- Menganalisis data hasil perhitungan.
- Kesimpulan hasil penelitian.
- Selesai.

3.5 Tempat dan Waktu Penelitian

Tempat : PLTA Sutami, UP Brantas.

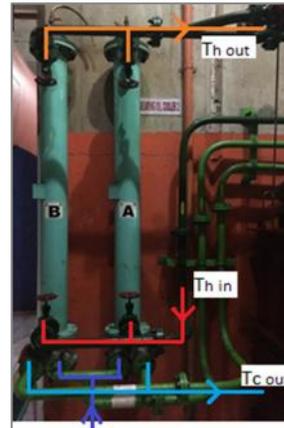
PT. Pembangkitan Jawa Bali.

Desa Karangates, Kec. Sumberpucung.

Kab. Malang 65165.

Waktu : Maret 2019 – Agustus 2019.

4. Hasil dan Pembahasan



Gambar 5. Oil Cooler Unit 2 PLTA Sutami

Keterangan :

$T_{c,in}$: Temperatur masuk air pendingin

$T_{c,out}$: Temperatur keluar air pendingin

$T_{h,in}$: Temperatur masuk *lubrication oil*

$T_{h,out}$: Temperatur keluar *lubrication oil*

4.1 Data Operasi Unit Pembangkitan

Data hasil operasi PLTA Sutami Unit 2 PT. Pembangunan Jawa Bali, Unit Pembangunan

Tabel 3. Data Operasi Sebelum Maintenance (diperoleh pada tanggal 2 Desember 2018)

Brantas diperoleh dari *logsheet* harian setiap jam. Berikut data operasi disajikan dalam Tabel 3 dan 4.

Pukul (WIB)	Sebelum Maintenance					
	T_{in}	T_{out}	T_{LTD}	Q_c	Q_h	ϵ
01:00	40,1	32,2	28,1	29,4	1,92	0,71
02:00	40,1	32,2	28,1	29,4	1,92	0,71
03:00	40,1	32,2	28,1	29,4	1,92	0,71
04:00	40,1	32,2	28,1	29,4	1,92	0,71
05:00	40,1	32,2	28,1	29,4	1,92	0,71
06:00	40,2	32,2	28,2	29,4	1,92	0,71
07:00	40,2	32,2	28,2	29,4	1,92	0,71
08:00	40,2	32,2	28,2	29,4	1,92	0,71
09:00	40,2	32,2	28,2	29,4	1,92	0,71
10:00	40,2	32,2	28,2	29,4	1,92	0,71
11:00	40,3	32,3	28,3	29,4	1,92	0,71
12:00	40,3	32,3	28,3	29,4	1,92	0,71
13:00	40,3	32,3	28,3	29,4	1,92	0,71
14:00	40,3	32,3	28,3	29,4	1,92	0,71
15:00	40,3	32,3	28,3	29,4	1,92	0,71
16:00	40,3	32,3	28,3	29,4	1,92	0,71
17:00	40,3	32,3	28,2	29,4	1,92	0,71
18:00	40,3	32,3	28,2	29,4	1,92	0,71
19:00	40,2	32,3	28,2	29,4	1,92	0,71
20:00	40,2	32,3	28,2	29,4	1,92	0,71
21:00	40,2	32,3	28,2	29,4	1,92	0,71
22:00	40,1	32,2	28,2	29,4	1,92	0,71
23:00	40,1	32,2	28,1	29,4	1,92	0,71
24:00	40,1	32,2	28,1	29,4	1,92	0,71
Rata-rata	40,2	32,2	28,2	29,4	1,92	0,71

Tabel 4. Data Operasi Sesudah Maintenance (diperoleh pada tanggal 4 Desember 2018)

Pukul (WIB)	Sesudah Maintenance					
	T_{in}	T_{out}	T_{LTD}	Q_c	Q_h	ϵ
01:00	39,5	31,5	28,1	29,4	1,92	0,71
02:00	39,5	31,5	28,1	29,4	1,92	0,71
03:00	39,5	31,5	28,1	29,4	1,92	0,71
04:00	39,5	31,5	28,1	29,4	1,92	0,71
05:00	39,5	31,5	28,1	29,4	1,92	0,71

06:00	39,5	31,5	28,2	29,4	1,92	0,71
07:00	39,6	31,6	28,2	29,4	1,92	0,71
08:00	39,6	31,6	28,2	29,4	1,92	0,71
09:00	39,6	31,6	28,2	29,4	1,92	0,71
10:00	39,7	31,6	28,2	29,4	1,92	0,71
11:00	39,7	31,6	28,3	29,4	1,92	0,71
12:00	39,7	31,7	28,3	29,4	1,92	0,71
13:00	39,7	31,7	28,3	29,4	1,92	0,71
14:00	39,7	31,7	28,3	29,4	1,92	0,71
15:00	39,7	31,7	28,3	29,4	1,92	0,71
16:00	39,7	31,7	28,3	29,4	1,92	0,71
17:00	39,7	31,6	28,2	29,4	1,92	0,71
18:00	39,7	31,6	28,2	29,4	1,92	0,71
19:00	39,6	31,6	28,2	29,4	1,92	0,71
20:00	39,6	31,6	28,2	29,4	1,92	0,71
21:00	39,6	31,6	28,2	29,4	1,92	0,71
22:00	39,6	31,6	28,2	29,4	1,92	0,71
23:00	39,5	31,5	28,1	29,4	1,92	0,71
24:00	39,5	31,5	28,1	29,4	1,92	0,71
Rata-rata	39,6	31,6	28,2	29,4	1,92	0,71

4.2 Hasil dan Pembahasan

Setelah mendapatkan semua parameter dalam perhitungan nilai efektivitas (ϵ), didapatkan perbedaan nilai data yang relatif kecil dari semua parameter pada kondisi sebelum dan sesudah *maintenance*. Selanjutnya, data tersebut akan dibandingkan dan dianalisa nilai rata-ratanya dari kondisi sebelum dan sesudah *maintenance* terhadap nilai *Log Mean Temperature Difference* (T_{LMTD}), *Number of Transfer Units* (NTU) dan Efektivitas *Oil Cooler* (ϵ). Data tersebut ditampilkan dan dirangkum dalam Tabel 5.

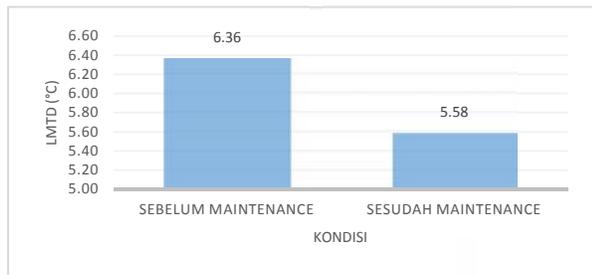
Tabel 5. Perbandingan nilai-nilai perhitungan efektivitas (ϵ) saat Sebelum dan Sesudah Maintenance.

Parameter	Nilai		Unit
	Sebelum Maintenance	Sesudah Maintenance	
T_{in}	40,2	39,6	
T_{out}	32,2	31,6	
T_{LTD}	28,2	28,2	
Q_c	29,4	29,4	
Q_h	0,71	0,71	L/s
Q_c	1,92	1,92	L/s
ϵ a-rata	36,22	35,60	

$\bar{v}_{c, rata}$	28,80	28,80	
$\frac{\rho_{c, rata}}{\rho_{air}}$	0,878	0,897	kg/L
$\frac{\rho_{c, rata}}{\rho_{air}}$	0,996	0,996	kg/L
h	0,624	0,637	kg/s
c	1,912	1,912	kg/s
C _{p,h}	1,948	1,946	kJ/kg.K
C _{p,c}	4,180	4,180	kJ/kg.K
$\frac{h}{k}$	12,0	11,4	
$\frac{c}{k}$	2,85	2,2	
T_{LMTD}	6,36	5,58	
C _c	7,991	7,991	kW/K
C _h	1,215	1,240	kW/K
U	350	350	W/ m ² .K
A	4,38	5,04	m ²
C _{min}	1,215	1,240	kW/K
C _{max}	7,991	7,991	kW/K
C _r	0,152	0,155	-
NTU	1,2603	1,4221	-
	0,6784	0,7152	-

4.2.1 Hubungan Kondisi dengan Log Mean Temperature Difference (T_{LMTD})

Berikut grafik hubungan antara kondisi sebelum dan sesudah *maintenance* terhadap nilai Log Mean Temperature Difference (T_{LMTD}):



Gambar 6. Hubungan Kondisi dengan Log Mean Temperature Difference (T_{LMTD})

Secara teori, semakin besar nilai T_{LMTD} maka semakin besar batas kesetimbangan perpindahan panas diantara dua fluida. Kenaikan T_{LMTD} disebabkan temperatur masuk *lubrication oil* yang semakin besar pada kondisi sebelum *maintenance*. Berdasarkan data hasil penelitian, nilai temperatur rata-rata *lubrication oil* masuk *oil cooler* pada kondisi sebelum *maintenance* cenderung lebih besar dibandingkan pada kondisi sesudah *maintenance* yaitu masing-masing 40,2 °C dan 39,6 °C. Sementara itu, temperatur air pendingin yang masuk ke *oil cooler* pada kondisi sebelum maupun

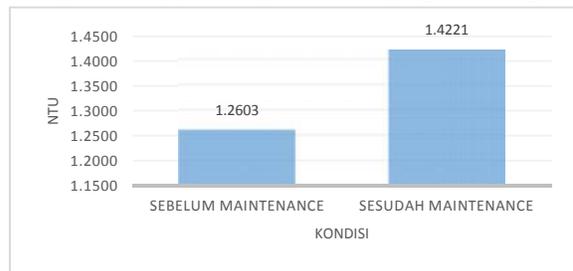
sesudah *maintenance* relatif konstan yaitu sebesar 28,2 °C.

Maka dari hasil pengolahan data, nilai rata-rata T_{LMTD} pada kondisi sebelum *maintenance* (tanggal 2 Desember 2018) diperoleh sebesar 6,36 °C. Sedangkan pada kondisi sesudah *maintenance* (tanggal 4 Desember 2018) diperoleh nilai rata-rata T_{LMTD} yang lebih kecil dibandingkan pada kondisi sebelum *maintenance* yaitu sebesar 5,58 °C.

4.2.2 Hubungan Kondisi dengan Number of Transfer Units (NTU)

Berikut grafik hubungan antara kondisi sebelum dan sesudah *maintenance* terhadap nilai Number of Transfers Unit (NTU) :

Berdasarkan hasil pengolahan data, nilai NTU dipengaruhi oleh nilai koefisien perpindahan panas menyeluruh (U), luas permukaan perpindahan panas



Gambar 7. Hubungan Kondisi dengan Number of Transfer Units (NTU)

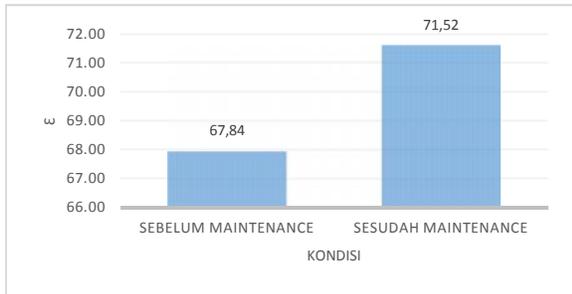
(A) dan nilai laju kapasitas kalor terkecil (C_{min}). Nilai koefisien perpindahan panas menyeluruh (U) untuk *water to oil* pada kondisi sebelum dan sesudah *maintenance* yaitu sebesar 350 $\frac{W}{m^2.K}$.

Nilai luas permukaan perpindahan panas (A) yang diperoleh pada kondisi sebelum dan sesudah *maintenance* bernilai konstan setiap jamnya yaitu masing-masing sebesar 4,38 m² dan 5,04 m². Dan yang terakhir, nilai laju kapasitas kalor terkecil (C_{min}) rata-rata pada kondisi sebelum *maintenance* sebesar 1,215 kW/K dan kondisi sesudah *maintenance* sebesar 1,240 kW/K.

Setelah mengolah data, diperoleh nilai Number of Transfer Unit (NTU) rata-rata pada kondisi sebelum *maintenance* (tanggal 2 Desember 2018) dan kondisi sesudah *maintenance* (tanggal 4 Desember 2018) yaitu masing-masing sebesar 1,2603 dan 1,4221. Dapat diperoleh informasi bahwa terjadi kenaikan nilai NTU sebesar 12,83%.

4.2.3 Hubungan Kondisi dengan Efektivitas (ε)

Berikut grafik hubungan antara kondisi sebelum dan sesudah *maintenance* terhadap nilai efektivitas (ε):



Gambar 8. Hubungan Kondisi dengan Efektivitas (ϵ)

Nilai efektivitas menunjukkan perbandingan antara perpindahan panas yang dilakukan dengan perpindahan panas maksimum yang mungkin dapat dilakukan. Semakin besar efektivitas *oil cooler*, maka semakin baik untuk mendinginkan *lubrication oil* yang akan disuplai ke *bearing*. Pada pengolahan data, adapun beberapa faktor yang mempengaruhi nilai efektivitas yaitu perbandingan laju kapasitas kalor (C_r) dan nilai NTU. Dari hasil pengolahan data menunjukkan bahwa efektivitas *oil cooler* mengalami kenaikan sebesar 3,68% yang pada kondisi sebelum *maintenance* sebesar 67,84%, sedangkan pada kondisi sesudah *maintenance* diperoleh nilai efektivitas sebesar 71,52%.

5. Kesimpulan

Berdasarkan analisis yang dilakukan, berikut kesimpulan yang dapat disimpulkan bahwa perubahan kondisi setelah dilakukannya *maintenance* mengakibatkan penurunan nilai *Log Mean Temperature Difference* (T_{LMTD}). Sedangkan nilai *Number of Transfer Unit* (NTU) mengalami kenaikan seiring telah dilakukannya *maintenance*. Demikian juga, nilai efektivitas (ϵ) *oil cooler* mengalami kenaikan sebesar 3,68% setelah dilakukannya *maintenance*. Hal ini ditunjukkan dari hasil pengolahan data yang menunjukkan nilai efektivitas pada kondisi sebelum dan sesudah *maintenance* yaitu masing-masing sebesar 67,84% dan 71,52%.

Daftar Pustaka

- [1] ESDM (2017). *Kajian Penyediaan Dan Pemanfaatan Migas*.
- [2] Ketenagalistrikan, K. (2017). *Statistik Ketenagalistrikan 2017*.
- [3] Handayani, S. U., Ariwibowo, D., & NH, F. K. (2000). *Kajian Eksperimental Kelayakan Dan Performa Alat Penukar Kalor Tipe Shell And Tube Single Pass Dengan Metode Bell Delaware*.

- [4] Bizzy, I., & Setiadi, R. (2013). *Studi Perhitungan Alat Penukar Kalor Tipe Shell Tube Dengan Program Heat Transfer Research Inch. (HTRI)*.
- [5] Ariani, D. W. (2014). *Manajemen Operasi Jasa. Manajemen Operasi*, 1–65.
- [6] Raja, A. K., Srivastava, A. P., & Dwivedi, M. (2006). *Power Plant Engineering*.
- [7] Arismunandar, A., & Kuwahara, S. (2004). *Teknik Tenaga Listrik*.
- [8] Milani Shirvan, K., Mamourian, M., & Abolfazli Esfahani, J. (2018). *Experimental investigation on thermal performance and economic analysis of cosine wave tube structure in a shell and tube heat exchanger. Energy Conversion and Management*.
- [9] T. Kuppan. (2001). *Heat Exchanger Design Handbook*.
- [10] Kern, D. (1965). *Process Heat Transfer*.
- [11] Rohsenow, W. A., Hartnett, J. P., & Cho, Y. I. (1998). *Handbook of Heat Transfer Third Edition*.
- [12] Pane, A. H. (2014). *Alat Penukar Kalor (Heat Exchanger)*.
- [13] Cengel, Y. A. (2015). *Heat Transfer A Practical Approach*.
- [14] Bergman, T. L., Lavine, A. S., Incropera, F. P., & DeWitt, D. P. (2015). *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*.

