

# Pengaruh Kondisi Operasi Terhadap Efektivitas *Oil Cooler* di PLTA Sutami

Polin Pangihutan Panggabean, I Nyoman Suprpta Winaya, dan Ketut Astawa  
*Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali*

## Abstrak

Kehandalan unit Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Sutami dipengaruhi oleh efektivitas *oil cooler* tipe *shell and tube* yang berfungsi sebagai pelumasan bearing. Pola operasi yang dinamis disesuaikan dengan kondisi debit waduk dan permintaan dispatcher (APB). Untuk menjaga pengoperasian tetap handal maka perlu analisis efektivitas. Data dari laporan harian (*logsheets*) digunakan sebagai data primer untuk pengolahan. Data operasi seperti temperatur ( $T_{h,inv}$ ,  $T_{h,out}$ ,  $T_{c,inv}$ ,  $T_{c,out}$ ) dan laju alir fluida ( $\dot{m}_h$ , dan  $\dot{m}_c$ ) digunakan untuk menghitung nilai kalor spesifik ( $c_{p,h}$ ,  $c_{p,c}$ ), laju kapasitas kalor ( $C_h$ ,  $C_p$ ) dan perbandingan laju kapasitas kalor ( $C_r$ ). Setelah itu, dilakukan perhitungan untuk mengetahui pengaruh kondisi operasi 20 MW dan 30 MW terhadap nilai *log mean temperature difference* ( $\Delta T_{LMTD}$ ), *number of transfer unit* (NTU), dan nilai efektivitas ( $\epsilon$ ) *oil cooler* tipe *shell and tube*. Kenaikan kondisi operasi 20 MW ke 30 MW menghasilkan nilai  $\Delta T_{LMTD}$  yang semakin besar, yaitu masing-masing 5,22 °C dan 5,57 °C. Sedangkan, nilai NTU mengalami penurunan seiring dengan kenaikan kondisi operasi, yaitu masing-masing 1,551 dan 1,452. Nilai efektivitas *oil cooler* pada kondisi operasi 20 MW dan 30 MW masing-masing sebesar 74,21 % dan 72,25 %.

Kata kunci: *oil cooler*, *log mean temperature difference*, *number of transfer unit*, efektivitas

## Abstract

The reliability of the Sutami Hydroelectric Power Plant (PLTA) is influenced by the effectiveness of the *shell and tube* type *oil cooler* which functions as a bearing lubricant. The dynamic operating pattern is adapted to reservoir discharge conditions and dispatcher requests (APB). To maintain reliable operation, effectiveness analysis is needed. Data from daily reports (*logsheets*) are used as primary data for processing. Operating data such as temperature ( $T_{h,inv}$ ,  $T_{h,out}$ ,  $T_{c,inv}$ ,  $T_{c,out}$ ) and fluid flow rate ( $\dot{m}_h$ , and  $\dot{m}_c$ ) are used to calculate specific heating values ( $c_{p,h}$ ,  $c_{p,c}$ ), heat capacity rate ( $C_h$ ,  $C_p$ ) and the ratio of heat capacity ( $C_r$ ). After that, a calculation is performed to determine the effect of the operating load of 20 MW and 30 MW on the *log mean temperature difference* ( $\Delta T_{LMTD}$ ) value, *number of transfer units* (NTU), and the effectiveness value ( $\epsilon$ ) of the *shell and tube* type *oil cooler*. The increase in operating load of 20 MW to 30 MW results in a greater value of  $\Delta T_{LMTD}$  namely 5.22 °C and 5.57 °C, respectively. Meanwhile, the value of NTU has decreased in line with the increase in operating load, which are respectively 1.551 and 1.452. The effectiveness value of the *oil cooler* at 20 MW and 30 MW operation load is 74.21 % and 72.25 %, respectively.

Keywords: *oil cooler*, *log mean temperature difference*, *number of transfer unit*, effectiveness

## 1. Pendahuluan

Di era globalisasi ini, manusia semakin dituntut untuk memenuhi kebutuhan energi listrik. Disamping itu, penggunaan energi fosil untuk pembangkit listrik termal telah berdampak pada kesehatan dan lingkungan hidup [1]. Pemanfaatan Energi Baru Terbarukan (EBT) menjadi solusi yang tepat karena ketersediaannya dan ramah lingkungan. Namun hingga saat ini, pemanfaatan EBT masih belum efektif dan lebih bertumpu pada pembangkit Transfer berbahan bakar fosil. Data menunjukkan bahan batu bara masih mendominasi penggunaan bahan bakar pembangkit listrik (59,2%), diikuti dengan gas bumi (22,3%) dan bahan bakar minyak (6,2%) [2]. Sementara itu, realisasi penggunaan EBT pembangkit listrik nasional sebesar 12,3%. Salah satu faktor yang mempengaruhi yaitu membutuhkan biaya investasi yang lebih besar untuk pembangkit EBT [3]. Oleh karena itu, perlu dikaji lebih lanjut untuk meningkatkan EBT sebagai penyedia energi nasional.

Energi air menjadi penerapan EBT terbesar yang telah dimanfaatkan saat ini. Hal tersebut dapat dibuktikan berdasarkan data [3]: energi air (2,89 %), panas bumi (1,37%) dan *biofuel* (0,16%). Kekayaan Indonesia yang terdiri dari danau dan aliran sungai

menjadikannya sangat potensial dimanfaatkan untuk pembangkit listrik: mencapai 75.091 MW [4]. Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) bekerja dengan memanfaatkan tinggi terjun air (*head*) untuk mendapatkan energi potensial. Air melewati pipa pesat (*penstock*) dan menghasilkan energi kinetik yang selanjutnya digunakan untuk memutar turbin. Kemudian energi listrik dibangkitkan oleh generator yang dikopel dengan turbin tersebut.

Pada pengoperasiannya, PLTA Sutami dipengaruhi oleh beberapa faktor. Salah satunya yaitu kondisi elevasi Waduk Karangates. Waduk Karangates merupakan waduk tahunan, sehingga elevasi waduk harus diatur sedemikian agar dapat tetap beroperasi. Ketika musim kemarau, air yang ditampung ketika musim hujan digunakan untuk operasi unit PLTA Sutami. Pada kondisi ini, PLTA Sutami biasanya mengoperasikan satu unit normal operasi dengan kondisi off peak 20 MW dan 30 MW apabila ada permintaan dari Area Pengatur Kondisi (APB).

Suatu PLTA dikategorikan handal, apabila sistem komponen peralatannya bekerja secara optimal. Seperti contohnya sistem pelumasan yang ada di PLTA Sutami UP Brantas, PT. Pembangkitan Jawa Bali (PJB). Pada sistem pelumasan, *lubrication*

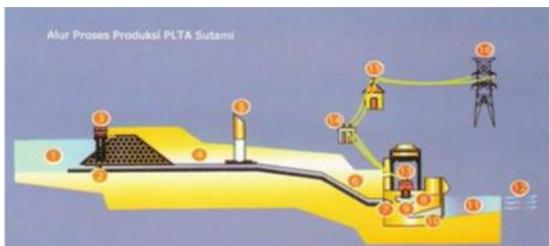
oil disuplai untuk mengurangi gesekan dan panas akibat kontak antara *ring dan ball* pada *turbine bearing*. Sistem pelumasan yang digunakan adalah siklus tertutup dengan media pendinginan air dengan tipe shell and tube sebagai pendingin oli (*oil cooler*). Pendinginan *oil cooler* yang terdapat di PLTA Sutami bertipe *one shell pass and two tube pass* (satu jalur shell dan dua jalur tube).

Beberapa penelitian mengenai *oil cooler* tipe *shell and tube* telah dilakukan sebelumnya. [5] melakukan studi perencanaan aplikasi *heat exchanger tipe shell and tube* untuk sistem Pembangkit Listrik Tenaga Biogas (PLTBg). Dari hasil perencanaannya, diperoleh kapasitas heat transfer sebesar 25.740,29 W/m<sup>2</sup>°C melalui 248 *tube* dengan Panjang 2000 mm. [6] memperoleh nilai efektivitas *oil cooler* tipe *shell and tube* sebesar 37,4% pada sistem *Integrated Steel Mill* Krakatau. Alat penukar kalor *shell and tube* berperan dalam peningkatan efisiensi suatu sistem [7].

## 2. Dasar Teori

### 2.1. Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Sutami

Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) merupakan salah satu pembangkit listrik yang memanfaatkan energi baru terbarukan berupa air sebagai bahan baku penghasil energi listrik. Energi listrik dihasilkan 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 dari 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 [8]. Listrik yang dihasilkan dari generator selanjutnya akan dialirkan menuju *main transformer* untuk dinaikkan tegangannya menjadi 154kV untuk selanjutnya ditransmisikan ke sistem transmisi Jawa-Madura-Bali (Jamali).



Gambar 1. Alur Proses Produksi PLTA Sutami.

### 1.2. Heat Exchanger Tipe Shell and Tube

Pada proses perpindahan panas di dalam *heat exchanger*, suatu aliran fluida mengalir melalui bagian dalam *tube* dan fluida lainnya mengalir di sisi luar *tube* namun masih didalam bagian dari *shell*.

Energi kalor ditransfer dari fluida yang satu ke fluida lainnya melalui dinding *tube*, begitu pula pada bagian *tube* menuju bagian *shell*. Fluida yang digunakan bisa berwujud cair maupun gas, baik itu di bagian *shell* maupun di bagian *tube*.

### 1.3. Laju Perpindahan Panas (Q)

Laju perpindahan panas (Q) adalah nilai kalor yang dipindahkan per satuan waktu. Perpindahan panas terjadi diantara material/benda disebabkan adanya perbedaan temperatur.

$$Q = \dot{m} c_p \Delta T \quad (1)$$

Berdasarkan kekekalan energi, maka laju perpindahan panas dapat ditentukan:

$$Q_{in} = Q_{out} \quad (2)$$

$$\dot{m}_h c_{p_h} \Delta T_h = \dot{m}_c c_{p_c} \Delta T_c \quad (3)$$

$$\dot{m}_h c_{p_h} (T_{h,i} - T_{h,o}) = \dot{m}_c c_{p_c} (T_{c,i} - T_{c,o}) \quad (4)$$

### 2.4. Laju Aliran Massa Fluida (ṁ)

Laju aliran massa fluida (ṁ) menyatakan nilai perpindahan massa fluida per satuan waktu. Nilai laju alir massa fluida dipengaruhi oleh densitas fluida (ρ) dan debit fluida (Q) yang melewati sebuah penampang. Maka diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$\dot{m} = \rho \times Q \quad (5)$$

### 2.5. Kalor Spesifik (c<sub>p</sub>)

Kalor spesifik menyatakan energi yang diperlukan untuk menaikkan temperatur suatu satuan massa sebesar 1 derajat. Nilai kalor spesifik diperoleh dengan interpolasi.

### 2.6. Log Mean Temperature Difference (ΔT<sub>LMTD</sub>)

Besar ΔT<sub>LMTD</sub> merupakan nilai rata-rata logaritmik dari perbedaan temperatur antara aliran fluida panas dengan aliran fluida dingin di setiap akhir *heat exchanger*.

### 2.7. Kapasitas Kalor (C)

Laju kapasitas kalor adalah jumlah kalor yang diserap oleh benda bermassa tertentu untuk menaikkan temperaturnya. Nilai laju kapasitas kalor diperoleh dengan persamaan sebagai berikut:

$$C = c_p \times \dot{m} \quad (6)$$

### 2.8. Analisis Efektivitas dengan Metode NTU

Efektivitas *heat exchanger* menyatakan nilai perbandingan laju perpindahan panas dengan laju perpindahan panas maksimum yang dapat dilakukan. Nilai efektivitas tersebut dapat dihitung dengan metode *Numer of Transfer Unit* (NTU) yaitu dalam fungsi rasio kapasitas kalor dan NTU:

$$\varepsilon = f(NTU, C) = f\left(NTU \frac{C_{min}}{C_{max}}\right) \quad (7)$$

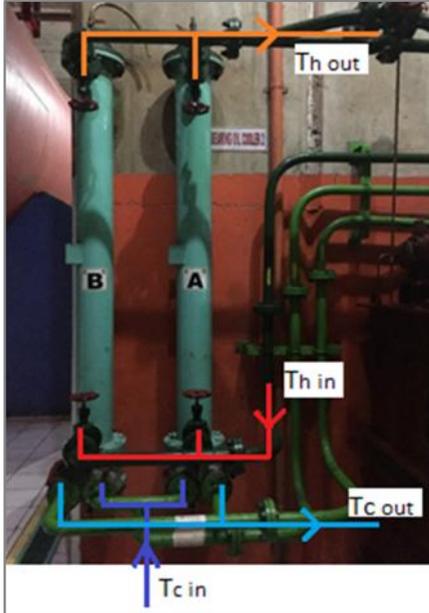
Dengan *Number of Transfer Unit* (NTU) yang diperoleh dengan persamaan:

$$NTU = \frac{UA}{C_{min}} = \frac{UA}{(\dot{m} \times c_p)_{min}} = \frac{UA}{C_{min}} \quad (8)$$

### 3. Metode penelitian

#### 3.1. Alat dan bahan

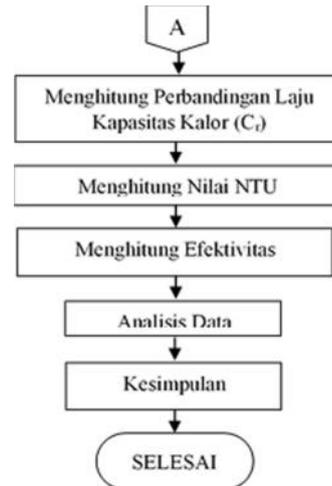
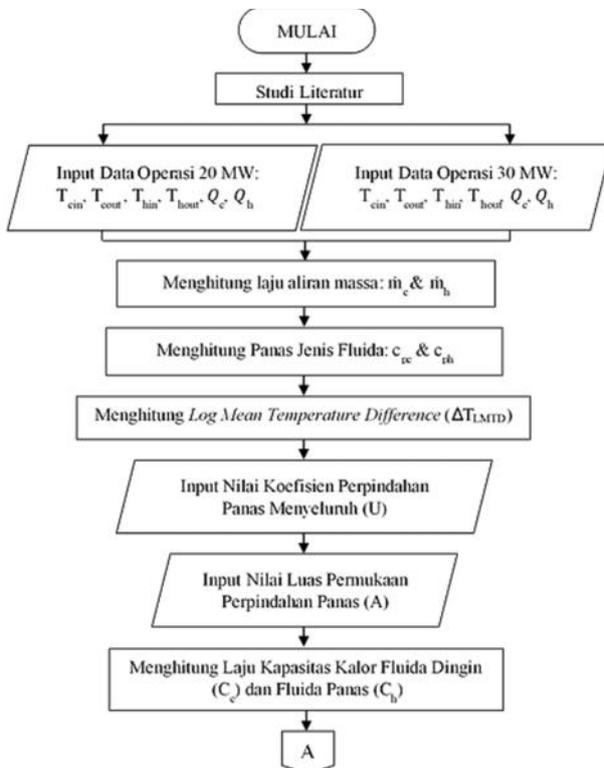
Alat yang digunakan yaitu *thermocouple*, *pressure gauge*, dan *flow meter* yang telah diintegrasikan pada suatu sistem kendali operasi SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*). Disamping itu, untuk mengolah data perhitungan efektivitas digunakan *Microsoft Excel*.



Gambar 2. Oil Cooler tipe shell and tube

#### 3.2. Diagram alir penelitian

#### 3.3. Deskripsi Penelitian



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini merupakan analisis perbandingan kondisi operasi 20 MW dan 30 MW terhadap efektivitas *oil cooler* tipe *shell and tube* yang terdapat di PLTA Sutami.

### 4. Hasil dan Pembahasan

#### 4.1. Data Hasil Penelitian

Data hasil penelitian diperoleh dari *logsheet* harian. Data kondisi operasi 30 MW diperoleh pada tanggal 16 Juli 2019 dan data operasi 20 MW diperoleh pada tanggal 17 Juli 2019.

#### 4.2. Pengolahan Data

Pengolahan data dilakukan dengan metode NTU untuk masing-masing data kondisi operasi 20 MW dan 30 MW. Data perbandingan hasil pengolahan data ditampilkan sebagai berikut.

Tabel 1. Perbandingan 20 MW dan 30 MW

No	Parameter	Kondisi Operasi		Satuan
		20 MW	30 MW	
1	$T_{h\ in}$	39,3	39,6	$^{\circ}C$
2	$T_{h\ out}$	31,3	31,6	$^{\circ}C$
3	$T_{c\ in}$	28,2	28,2	$^{\circ}C$
4	$T_{c\ out}$	29,4	29,4	$^{\circ}C$
5	$Q_h$	0,71	0,71	L/s
6	$Q_c$	1,92	1,92	L/s
7	$T_h\ rata-rata$	28,8	28,8	$^{\circ}C$
8	$T_c\ rata-rata$	35,3	35,6	$^{\circ}C$
9	$\rho_h$	0,879	0,879	kg/L
10	$\rho_c$	0,996	0,996	kg/L
11	$c_{ph}$	1,94	1,95	kJ/kg.K
12	$c_{pc}$	4,18	4,18	kJ/kg.K
13	$\dot{m}_h$	0,62	0,62	kg/s
14	$\dot{m}_c$	1,91	1,91	kg/s
15	$\Delta T_1$	11,1	11,4	$^{\circ}C$
16	$\Delta T_2$	1,9	2,2	$^{\circ}C$
17	$\Delta T_{LMTD}$	5,22	5,57	$^{\circ}C$
18	U	0,35	0,35	kW/m <sup>2</sup> .K
19	A	5,36	5,02	m <sup>2</sup>
20	$C_h (C_{min})$	1,21	1,21	kW/K
21	$C_c (C_{max})$	7,97	7,97	kW/K
22	$C_r$	0,15	0,15	-
23	NTU	1,551	1,452	-
24	$\epsilon$ (%)	74,21	72,25	-

### 4.3. Hubungan Kondisi Operasi dengan Log Mean Temperature Difference ( $\Delta T_{LMTD}$ )

Nilai Log Mean Temperature Difference ( $\Delta T_{LMTD}$ ) merepresentasikan nilai rata-rata logaritmik dari perbedaan suhu antara aliran *lubrication oil* dan air pada alat penukar kalor. Secara teori, semakin besar nilai  $\Delta T_{LMTD}$  maka semakin besar batas kesetimbangan perpindahan panas diantara dua fluida. Kenaikan  $\Delta T_{LMTD}$  disebabkan temperatur masuk *lubrication oil* yang semakin besar seiring meningkatnya kondisi operasi. Berdasarkan data hasil penelitian, nilai temperatur rata-rata *lubrication oil* masuk *oil cooler* pada operasi 30 MW cenderung lebih besar dibandingkan pada operasi 20 MW yaitu masing-masing 39,6°C dan 39,3°C. Sementara itu, temperatur air pendingin yang masuk ke *oil cooler* pada operasi 20 MW maupun operasi 30 MW relatif konstan yaitu sebesar 28,2 °C.

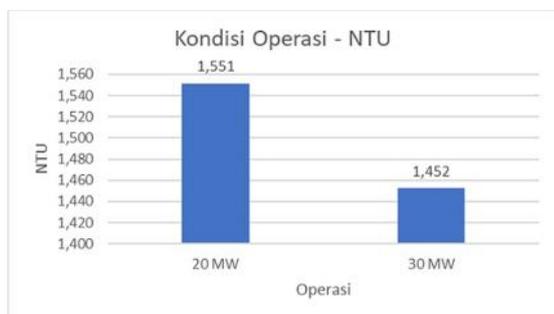
Sehingga dari hasil pengolahan data, nilai rata-rata  $\Delta T_{LMTD}$  pada pengoperasian unit 20 MW (tanggal 17 Juli 2019) diperoleh sebesar 5,22 °C. Sedangkan pada pengoperasian unit 30 MW (tanggal 16 Juli 2019) diperoleh nilai rata-rata  $\Delta T_{LMTD}$  yang meningkat sebesar 6,7 % menjadi 5,57 °C. Berikut gambar 4.3 yang menunjukkan grafik hubungan antara kondisi operasi 20 MW dan 30 MW terhadap nilai Log Mean Temperature Difference ( $\Delta T_{LMTD}$ ).

### 4.4. Hubungan Kondisi Operasi dengan Number



**Gambar 4. Grafik hubungan kondisi operasi dengan Log Mean Temperature Difference ( $\Delta T_{LMTD}$ )**

of Transfer Unit (NTU)



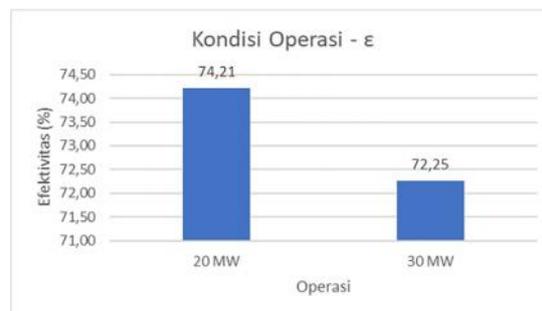
**Gambar 5. Grafik hubungan kondisi operasi dengan Number of Transfer Unit (NTU)**

Setelah mengolah data, diperoleh nilai Number of Transfer Unit (NTU) rata-rata pada operasi 20

MW (tanggal 17 Juli 2019) dan 30 MW (tanggal 16 Juli 2019) yaitu masing-masing sebesar 1,551 dan 1,452. Atau dapat diperoleh informasi bahwa terjadi penurunan nilai sebesar 6,4 %. Berikut gambar 4.4 yang menunjukkan grafik hubungan antara kondisi operasi 20 MW dan 30 MW terhadap nilai Number of Transfer Unit (NTU).

### 4.5 Hubungan Kondisi Operasi dengan Efektivitas ( $\epsilon$ )

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 mentransfer panas dari *lubrication oil* yang akan disuplai ke *bearing*. Pada pengolahan data, ditemukan beberapa faktor yang mempengaruhi nilai efektivitas yaitu keterbatasan kemampuan air pendingin dan temperatur *lubrication oil*. Temperatur air pendingin terbatas pada masing-masing kondisi operasi, yaitu bernilai konstan sebesar 28,2 °C. Sedangkan kenaikan kondisi operasi mengakibatkan gesekan yang lebih besar pada *bearing*. Sebagai fungsi pelumasan dan penghantar panas dari *bearing*, *lubrication oil* akan mengalami kenaikan temperatur seiring kenaikan kondisi operasi. Dari hasil pengolahan data, nilai efektivitas *oil cooler* pada operasi 20 MW diperoleh sebesar 74,21 %. Sedangkan pada operasi 30 MW, diperoleh penurunan nilai efektivitas sebesar 2,64 % menjadi senilai 72,25 %. Berikut gambar 4.5 yang menunjukkan grafik yang menunjukkan hubungan antara kondisi operasi 20 MW dan 30 MW terhadap nilai efektivitas *oil cooler* ( $\epsilon$ ).



**Gambar 6. Grafik hubungan kondisi operasi dengan Efektivitas ( $\epsilon$ )**

### 4.6 Analisis Perbandingan Kondisi Operasi 20 MW dan 30 MW

Pada kondisi elevasi waduk yang sama, kondisi operasi 30 MW lebih menguntungkan dibandingkan kondisi operasi 20 MW. Hal ini dikarenakan semakin besar kondisi operasi mampu memproduksi energi listrik per satuan waktu yang lebih besar. Maka secara ekonomi, kondisi operasi 30 MW akan menguntungkan bagi perusahaan pembangkit listrik.

Seperti yang telah dibahas sebelumnya, kondisi operasi 30 MW mengakibatkan terjadinya gesekan yang semakin besar. Pada kondisi kualitas *lubrication oil* yang sama, kondisi operasi 30 MW akan berpengaruh pada umur pemakaian *lubrication*

oil yang lebih singkat dibandingkan kondisi operasi 20 MW. Dan dengan berkurangnya umur pemakaian *lubrication oil* tersebut, maka membutuhkan biaya pengadaan yang lebih cepat dibandingkan kondisi operasi 20 MW. Selain itu juga, meningkatnya vibrasi yang terjadi pada kondisi operasi 30 MW akan berpengaruh pada posisi poros turbin.

## 5. Kesimpulan

Berdasarkan analisis yang dilakukan, diperoleh kesimpulan bahwa kenaikan kondisi operasi 20 MW ke 30 MW mengakibatkan kenaikan nilai *Log Mean Temperature Difference* ( $\Delta T_{LMTD}$ ). Sedangkan nilai *Number of Transfer Unit* (NTU) mengalami penurunan seiring kenaikan kondisi operasi 20 MW ke 30 MW. Demikian juga, nilai efektivitas ( $\epsilon$ ) *oil cooler* tipe *shell and tube* mengalami penurunan akibat kenaikan kondisi operasi dari 20 MW ke 30 MW. Penurunan tersebut disebabkan beban pendinginan yang meningkat seiring kenaikan kondisi operasi. Sementara itu, kemampuan pendinginan relatif konstan pada kondisi operasi 20 MW dan 30 MW. Hal ini ditunjukkan dari hasil pengolahan data yang menunjukkan nilai efektivitas *oil cooler* tipe *shell and tube* pada kondisi operasi 20 MW dan 30 MW yaitu masing-masing sebesar 74,21 % dan 72,25 %.

## Daftar Pustaka

- [1] Sri Soewasti Soesanto, 1999, *Pembangkit Listrik: Dampaknya pada Kesehatan dan Lingkungan*, vol. IX, no. Pembangkit Listrik, pp. 26–29.
- [2] Menko Perekonomian, 2018, *Pemanfaatan EBT Pembangkit Listrik Hingga Triwulan III 2018*.
- [3] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2017, *Kajian Penyediaan Dan Pemanfaatan Migas*.
- [4] Direktorat Jenderal Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi, 2016, *Statistik EBTKE 2016*, p. 68.
- [5] I. Putra, 2017, *Studi Perhitungan Heat Exchanger Type Shell and Tube Dehumidifier Biogas Limbah Sawit untuk Pembangkit Listrik Tenaga Biogas*, vol. 15, pp. 42–49.
- [6] J. Sudrajat, 2017, *Analisis Kinerja Heat Exchanger Shell & Tube Pada Sistem COG Booster Di Integrated Steel Mill Krakatau*, *J. Tek. Mesin*, vol. 6, no. 3, p. 174.
- [7] S. U. Handayani, D. Ariwibowo, and F. NH Kusuma, 2012, *Kajian Eksperimental Kelayakan dan Performa Alat Penukar*

*Kalor tipe Shell and Tube Single Pass dengan metode Bell Delaware*, pp. 48–53.

- [8] A. K. Raja, A. P. Srivastava, and D. Manish, 2016, *Power Plant Engineering*, vol. 111, no. 479.



**Polin P Panggabean**, Lahir di Sorong, 23 Desember 1997. Meraih gelar Sarjana Teknik (S.T) dari Universitas Udayana pada tahun 2019. Penulis menyelesaikan studinya dengan topik terkait analisis efektivitas *heat exchanger*. Penulis dapat dihubungi melalui email: plnpnggbn7@gmail.com