

Analisis Efektivitas *Oil Cooler Generator Thrust Bearing* Pada Unit 2 di PLTM Parmonangan

Steven Owen Yosua Siagian, I.N. Suprpta Winaya, I.G.N. Putu Tenaya
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Untuk menjaga kehandalan produksi PLTM Parmonangan harus menggunakan alat-alat yang membantu efektivitas efektif yaitu diantaranya ialah *Oil Cooler Generator Thrust Bearing*. Penelitian ini bertujuan menganalisis laju perpindahan panas aktual, NTU dan efektivitas *oil cooler generator thrust bearing* sesudah *maintenance 1* dan *maintenance 2*. Berdasarkan hasil analisis data yang dilakukan, perubahan nilai NTU, laju perpindahan panas aktual mempengaruhi dan berbanding lurus dengan efektivitas. Sesudah *maintenance 1* nilai efektivitas menurun seiring berjalannya waktu pengoperasian dari 40,29% menjadi 27,03%. Setelah dilakukan *maintenance* efektivitas *oil cooler* meningkat kembali dari 27,03% menjadi 40,27%. Pada hari 1 sampai hari 13 nilai efektivitasnya sama, setelah dari hari ke 13 sampai hari ke 17 nilai efektivitasnya mulai menurun. Bahkan nilai efektivitas sesudah *maintenance 2* lebih rendah dari sesudah *maintenance 1* disebabkan oleh berjalannya waktu pengoperasian. Maka dari itu dilakukannya penjadwalan *maintenance* yang teratur agar selalu menjaga kondisi efektivitas dengan baik.

Kata kunci: *Oil Cooler, Efektivitas, Maintenance, NTU*

Abstract

To maintain the reliability of the Parmonangan PLTM production, you must use auxiliary equipment that can work optimally, including the *Oil Cooler Generator Thrust Bearing*. This study aims to analyze the actual heat transfer rate, NTU and the effectiveness of the *oil cooler generator thrust bearing* after *maintenance 1* and *maintenance 2*. After *maintenance 1*, the effectiveness value decreased over time from 40.29% to 27.03%. After *maintenance*, the effectiveness of the *oil cooler* increased again from 27.03% to 40.27%. On day 1 to day 13 the effectiveness value is the same, after from day 13 to day 17 the effectiveness value begins to decrease. Even the effectiveness value after *maintenance 2* is lower than after *maintenance 1* due to the running time of operation. Therefore, regular *maintenance scheduling* is carried out in order to always maintain good conditions of effectiveness.

Keywords: *Oil Cooler, effectiveness, Maintenance, NTU*

1. Pendahuluan

Di era modern ini, listrik sudah menjadi sumber yang utama bagi setiap manusia. Kebutuhan energi listrik nasional di sektor industri, komersial, rumah tangga dan transportasi ditaksir akan terus mengalami peningkatan hingga tahun 2050 dengan presentase sekitar 6% tiap tahunnya atau mencapai 7,4 kali lipat dibandingkan tahun 2016 [1]. Peningkatan tersebut mengarah pada diperlukannya suatu sistem yang dapat menyediakan energi listrik nasional secara memadai. Disamping itu, pemerintah Indonesia juga lagi mengembangkan Pembangkit Listrik Energi Baru Terbarukan sebagai pengganti sumber energi utama pembangkit listrik dan mengurangi emisi gas rumah kaca.

Penerapan EBT dari 14% yang digunakan untuk pembangkitan berdasarkan data kementerian ESDM 2019 meliputi PLTA, PLTM, PLTMh, PLTS, PLTSa, PLT Biogas, PLT Biomassa, PLTP, PLTB. Dari semua EBT tersebut penggunaan energi air (PLTA, PLTM, PLTMh) menjadi yang terbesar mencapai 51% dari total pembangkitan EBT tersebut [2]. Indonesia yang mempunyai sumber air yang berbentuk danau maupun sungai yang mengalirkan air setiap detiknya berpotensi dimanfaatkan sebagai sumber energi listrik. PLTM merupakan pembangkit yang memanfaatkan air yang dialirkan melalui pipa

pesat (penstock) kemudian masuk ke dalam turbin, yang selanjutnya menghasilkan energi listrik oleh generator yang disatukan dengan turbin.

Untuk menjaga kondisi Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro ini selalu optimal dalam beroperasi, maka diperlukan peralatan-peralatan bantu yang handal dan dalam kondisi baik seperti *oil cooler*. *Oil cooler* memiliki dampak terhadap pembangkit listrik itu sendiri[3]. *Oil Cooler Generator Thrust Bearing* merupakan salah satu komponen pendukung pembangkit listrik tenaga Minihidro agar tetap beroperasi optimal, yang berfungsi untuk mendinginkan oli yang digunakan melumasi dan mendinginkan *generator thrust bearing* dengan media pendingin adalah air yang dipompakan dari *inlet penstock* sehingga terjadi perpindahan kalor dari temperatur rendah (air dari inlet penstock) mendinginkan temperatur tinggi (oli dari generator thrust bearing).

Oleh karena itu, dalam penelitian kali ini penulis akan menganalisis efektivitas *oil cooler generator thrust bearing* pada kondisi sesudah *maintenance 1* dan sesudah *maintenance 2*.

2. Landasan Teori

2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM)

Dengan munculnya Peraturan Menteri ESDM Nomor 50 Tahun 2017 mengenai Pemanfaatan Energi Terbarukan buat penyediaan energi listrik diperlukan bisa mempertinggi pengembangan PLTM/MH menggunakan melibatkan pembangun swasta [2]. Pembangkit listrik tenaga minihidro (PLTM) adalah bagian dari pembangkit listrik yang membangkitkan energi listrik menggunakan tenaga air sebagai sumber penghasil energi listrik. PLTM adalah pembangkit yang ramah lingkungan karena menggunakan energi baru terbarukan (renewable) dimana air sebagai sumber utama. Syarat untuk bisa dikembangkannya PLTM adalah adanya debit air yang relatif cukup dan adanya beda ketinggian [4].

2.2 Generator

Generator merupakan komponen utama pembangkit listrik, di mana tegangan yang diinduksikan pada gulungan tergantung pada kuat medan magnet, panjang penghantar dalam kumparan dan kecepatan putaran. Generator yang dihubungkan pada poros yang sama dengan turbin air, memiliki tumpuan poros yang berfungsi sebagai penahan beban generator pada poros. Generator dioperasikan secara terus menerus maka dari itu agar menghindari panas berlebihan diperlukan sistem pendinginan. Sistem pendinginan sangat dibutuhkan untuk mengurangi panas yang muncul pada oli yang digunakan sebagai pelumasan karena gesekan bantalan (bearing) dengan poros turbin dan pendingin generator [5]. Minyak pelumas melakukan penyerapan panas dari bantalan poros sehingga bantalan poros tidak mengalami panas yang berlebihan. Agar pertukaran kalor ini berjalan dibutuhkan sebuah *oil cooler*.

2.3 Oil Cooler Shell and Tube

Oil cooler shell and tube ialah berupa sebuah cangkang berbentuk silinder (shell) dan pipa-pipa yang didesain berada sejajar di dalam cangkang (tubes). Alat penukar kalor model ini merupakan jenis alat penukar panas yang menurut konstruksinya dicirikan dengan adanya sekumpulan *tube* yang dipasangkan di dalam *shell* berbentuk silinder dimana 2 jenis fluida yang saling bertukar panas mengalir secara terpisah, masing-masing melalui sisi *tube* dan sisi *shell*. 1 cairan mengalir di dalam *tube*, sementara cairan lain dialirkan dalam *shell*. Prinsip kerja dari jenis ini adalah dua fluida yang berbeda suhu, yang satu dialirkan dalam *tube* dan yang lainnya dalam *shell* sehingga bersentuhan secara tidak langsung dan secara otomatis kalor dari fluida yang temperaturnya lebih tinggi berpindah ke fluida yang memiliki temperatur lebih rendah.

2.4 Laju Aliran Massa Fluida (\dot{m})

Merupakan nilai perpindahan massa fluida per satuan waktu. Jumlah nilai laju alir massa fluida dipengaruhi oleh densitas fluida (ρ) dan debit fluida (Q) yang akan melalui sebuah penampang. Sebab itu didapatkan persamaan dibawah ini:

$$\dot{m} = \rho \times Q \quad (1)$$

2.5 Laju Perpindahan Panas Aktual (Q_{Act})

Laju perpindahan panas aktual adalah dimana panas yang dilepaskan oleh fluida panas atau yang diserap oleh fluida dingin secara aktual, dimana dapat dicari melalui persamaan dibawah ini [6] :

$$Q_{Act} = C_h (T_{h,1} - T_{h,2}) \quad (2)$$

$$Q_{Act} = C_c (T_{c,2} - T_{c,1}) \quad (3)$$

2.6 Analisis Heat Exchanger: Efektivitas (ϵ) - Metode NTU

Efektivitas heat exchanger diartikan sebagai suatu perbandingan antara laju perpindahan panas yang dilakukan (aktual) dengan laju perpindahan panas secara maksimum yang kemungkinan terjadi. Dengan demikian, perlu menghitung laju perpindahan panas aktual (Q) dan laju perpindahan panas maksimum yang mungkin dilakukan (Q_{max}). Diawali dengan menghitung nilai laju kapasitas kalor (C) [7]:

$$C = c_p \times \dot{m} \quad (4)$$

Dengan nilai perhitungan laju kapasitas kalor $C_c < C_h$, dengan demikian laju perpindahan panas maksimum yang dapat dicari :

$$Q_{max} = C_c (T_{h,i} - T_{c,i}) \quad (5)$$

Jika perhitungan nilai laju kapasitas kalor $C_h < C_c$, nilai laju perpindahan panas maksimum dapat diperoleh juga dari :

$$Q_{max} = C_h (T_{h,i} - T_{c,i}) \quad (6)$$

Dapat juga digunakan perumpamaan C_{min} dipakai sebagai nilai laju kapasitas kalor paling rendah antara C_c (fluida dingin) dan C_h (fluida panas), maka bisa disederhanakan menjadi persamaan:

$$Q_{max} = C_{min} (T_{h,i} - T_{c,i}) \quad (7)$$

Setelah itu, untuk mencari perhitungan nilai efektivitas *heat exchanger* didapatkan:

$$\epsilon = \frac{Q_{Act}}{Q_{max}} \quad (8)$$

Untuk mencari perhitungan jumlah satuan perpindahan panas (NTU), kita dapat memakai:

$$NTU = \frac{UA}{C_{min}} = \frac{UA}{(\dot{m} \times c_p)_{min}} = \frac{UA}{C_{min}} \quad (9)$$

3. Metode Penelitian

Penelitian ini mengkaji analisis keadaan *oil cooler* generator thrust bearing dengan melakukan pengamatan di PLTM Parmonangan untuk mengetahui efektivitas *oil cooler generator thrust bearing*, yang harus melaksanakan tugasnya untuk menjaga temperatur oil agar tidak terjadi kerusakan pada bearing. Variabel yang ada seperti dibawah ini:

1. Variabel bebas

Adapun variabel bebas penelitian ini yaitu:

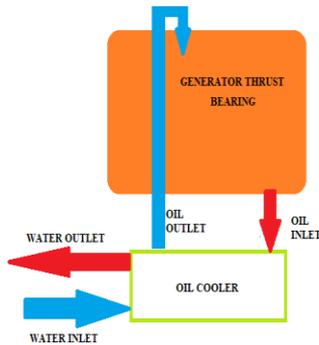
- Sesudah *maintenance* 1.
- Sesudah *maintenance* 2.

2. Variabel terikat

Variabel terikat yang ada pada penelitian ini adalah:

- Laju perpindahan panas aktual (Q_{Act})

- Number of transfer unit (NTU)
- Efektivitas (ϵ)



Gambar 1. Skematik oil cooler generator thrust bearing

4. Hasil Data

4.1 Hasil Data Observasi Lapangan

Pencatatan data operasi unit 2 di PLTM Parmonangan. Berikut data hasil observasi lapangan sesudah *maintenance* 1 dan sesudah *maintenance* 2 yang dikumpulkan dari logsheet harian data.

Tabel 1 Observasi Lapangan Sesudah *Maintenance* 1

Hari	Thout (°C)	Thin (°C)	Tcin (°C)	Tcout (°C)
1	28.50	34.42	19.72	20.36
2	28.50	34.23	19.83	20.38
3	28.50	34.26	19.70	20.41
4	28.50	34.31	19.85	20.41
5	28.50	34.27	19.77	20.37
6	28.50	34.35	19.80	20.38
7	28.50	34.20	19.78	20.40
8	28.50	34.33	19.80	20.42
9	28.50	34.40	19.84	20.42
10	28.50	34.34	19.72	20.42
11	28.50	34.34	19.76	20.41
12	28.50	34.20	19.70	20.40
13	28.50	34.20	19.70	20.40
14	29.50	34.00	19.90	20.45
15	30.00	34.47	19.77	20.40
16	30.00	34.60	19.70	20.40
17	30.50	34.50	19.70	20.40

Tabel 2. Observasi Lapangan Sesudah *Maintenance* 2

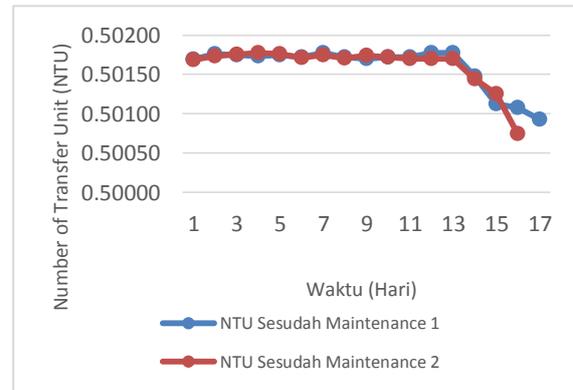
Hari	Thout (°C)	Thin (°C)	Tcin (°C)	Tcout (°C)
1	28.50	34.43	19.70	20.40
2	28.50	34.31	19.85	20.41
3	28.50	34.25	19.70	20.40
4	28.50	34.20	19.70	20.40

5	28.50	34.23	19.73	20.37
6	28.50	34.37	19.82	20.43
7	28.50	34.26	19.70	20.41
8	28.50	34.39	19.71	20.40
9	28.50	34.29	19.70	20.41
10	28.50	34.35	19.83	20.50
11	28.50	34.40	19.70	20.40
12	28.50	34.40	19.70	20.40
13	28.50	34.40	19.70	20.50
14	29.50	34.09	19.7	20.5
15	30.00	34.12	19.68	20.4
16	31.00	34.50	19.71	20.4

4.2 Pembahasan

Setelah mendapatkan data hasil perhitungan maka dapat disimpulkan bahwa :

4.2.1 Grafik Kondisi Operasi terhadap NTU



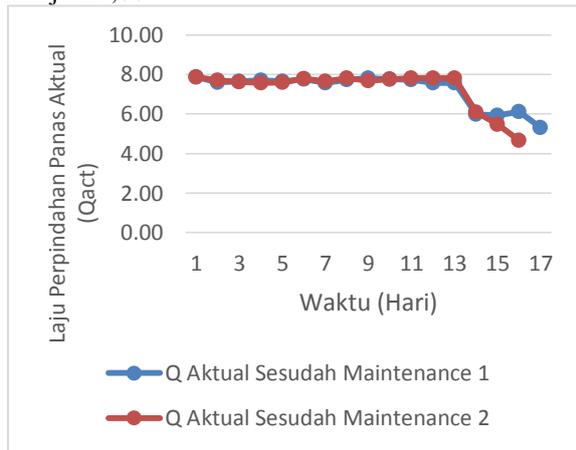
Gambar 2. Grafik NTU Sesudah *Maintenance* 1 dan Sesudah *Maintenance* 2

Dari gambar 2 dapat dilihat penurunan nilai NTU pada hari yang ke 17 setelah *maintenance* 1. Nilai NTU menurun disebabkan oleh meningkatnya waktu pengoperasian yang menimbulkan semakin melambat panas yang terserap pada *lubrication oil* seiring berjalannya waktu pengoperasian.. Dimana nilai NTU pada kondisi sesudah *maintenance* 1 dan sesudah *maintenance* 2 sangat mengalami perubahan yang hampir sama. Namun Nilai NTU meningkat setiap setelah dilakukan *maintenance*.

4.2.2 Kondisi Operasi dengan Laju Perpindahan Panas Aktual

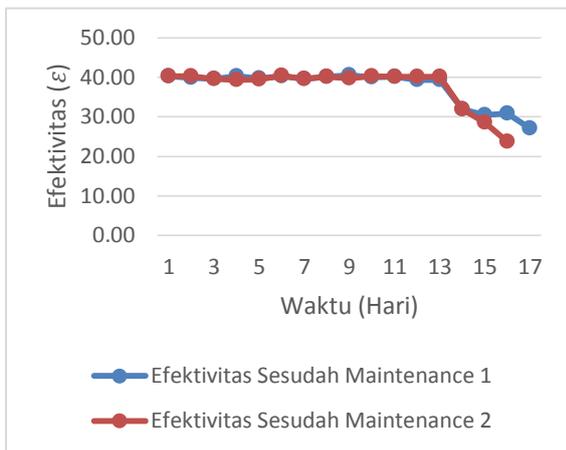
Berdasarkan perhitungan laju perpindahan panas aktual dapat disimpulkan pada gambar 3 dibawah dapat dilihat bahwa hari ke 17 terjadi perpindahan panas aktual turun, namun setelah dilakukannya *maintenance* pada *oil cooler generator thrust bearing* laju perpindahan panas kembali ke normal. Penurunan laju perpindahan panas aktual seiring berjalannya waktu pengoperasian. Hal ini berindikasi pada waktu pengoperasian yang sudah seharusnya dilakukan *maintenance*. Laju perpindahan panas aktual sesudah *maintenance* 1 dari 7,85 W menjadi 5,31 W. Sesudah dilakukan

maintenance 2 kembali meningkat dari 5,31 W menjadi 7,86 W.



Gambar 3. Grafik Laju Perpindahan Panas Aktual Sesudah Maintenance 1 dan Sesudah Maintenance 2

4.2.3 Hubungan Kondisi Operasi dengan Efektivitas (ϵ)

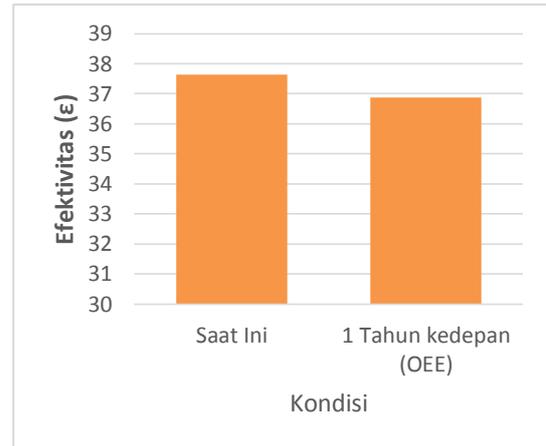


Gambar 4. Grafik Efektivitas Sesudah Maintenance 1 dan Sesudah Maintenance 2

Efektivitas *Oil cooler Generator Thrust Bearing* mengalami penurunan dari hari ke 13 sampai hari ke 17. Bahkan nilai efektivitas sesudah *maintenance 2* lebih rendah dari sesudah *maintenance 1*. *Maintenance* dilakukan pada saat efektivitas 27,03 % di hari ke 17 sesudah *maintenance 1*, setelah melakukan *maintenance* pada *Oil Cooler Generator Thrust Bearing* efektivitas langsung meningkat menjadi 40,27% di hari pertama sesudah *maintenance 2*.

4.2.4 Hubungan Efektivitas dengan OEE

OEE (Overall Equipment Effectiveness) adalah percobaan perhitungan yang dapat digunakan untuk menentukan nilai Efektivitas mesin atau peralatan yang tersedia. Berdasarkan hasil pengolahan data, nilai OEE pada grafik dibawah merupakan nilai OEE *Oil cooler Generator Thrust Bearing* pada saat kondisi 1 tahun ke depan. Setelah dilakukannya perencanaan *maintenance* selama setahun dengan pola yang teratur seperti perencanaan maka hal ini dapat kita lihat hasilnya pada gambar 5 grafik dibawah ini.



Gambar 5. Grafik Hubungan Efektivitas Saat ini dengan 1 tahun kedepan (OEE)

Dari gambar 5 dapat dilihat efektivitas pada saat ini sebesar 37,64 dan pada kondisi satu tahun kedepan dengan melakukan perawatan sesuai rencana setiap 15 hari mendapatkan nilai efektivitas 36,88 % yang berarti baik. Menurut perhitungan kondisi efektivitas menilai baik dapat dilihat pada gambar 4 sesuai grafik 4 keadaan baik masih pada nilai efektivitas >30 %.

5. Kesimpulan

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan setelah melakukan *maintenance 1* dan *maintenance 2* pada *Oil Cooler Generator Thrust Bearing*, dapat disimpulkan bahwa :

- Diperoleh penurunan laju perpindahan panas aktual sesudah *maintenance 1* dari 7,85 W menjadi 5,31 W. Sesudah dilakukan *maintenance 2* kembali meningkat dari 5,31 W menjadi 7,86 W yang kemudian Kembali menurun pada hari ke 13.
- Nilai NTU juga mengalami penurunan pada *maintenance 1* disebabkan oleh meningkatnya waktu pengoperasian yang menimbulkan semakin melambat panas yang terserap pada *lubrication oil* seiring berjalannya waktu pengoperasian.
- Efektivitas *Oil cooler Generator Thrust Bearing* juga mengalami penurunan. Setelah dilakukan *maintenance 2* efektivitas *oil cooler* meningkat kembali dari 27,03% menjadi 40,27%. Pada hari 1 sampai hari 13 nilai efektivitasnya sama, setelah dari hari ke 13 sampai hari ke 17 nilai efektivitasnya mulai menurun. Bahkan nilai efektivitas sesudah *maintenance 2* lebih rendah dari sesudah *maintenance 1*.
- *Maintenance* dilakukan sesuai jadwal yang direncanakan, maka didapat nilai efektivitas yang baik, hal ini ditunjukkan pada efektivitas saat ini 37.64% menjadi 36.88% pada satu tahun ke depan (OEE).

Daftar Pustaka

- [1] Yudiartono, Anindhita, Agus Sugiyono, Laode M.A. Wahid, Adiarso, 2018, *Sustainable Energy for Land Transportation*, ISBN 978-602-1328-05-7

- [2] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2019, **Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik PT. PLN (PERSERO) 2019–2028**. Keputusan Menteri Energi Dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 39 K/20/Mem/2019.
- [3] Handayani, S. U., Ariwibowo, D., and NH Kusuma, F., 2012, **Kajian Eksperimental Kelayakan dan Performa Alat Penukar Kalor tipe Shell and Tube Single Pass dengan metode Bell Delaware**, ISBN 978-602-99334-1-3.
- [4] Andi Prasetyanto, Nizar Mahrus, Sri Sangkawati, Robert J. Kodoatie, 2013, **Perencanaan Pembangkit listrik Tenaga Mini hidro (Pltm) Palumbungan, Purbalingga**. Jurnal Karya Teknik Sipil UNDIP Vol. 2, No. 1.
- [5] Mukhnizen, 2010, **Perawatan Oil cooler Tipe Plate di PLTA Singkarak**, Jurnal Mahasiswa Universitas Andalas Vol.1, No.2.
- [6] Cengel, Y. A., 2015, **Heat Exchanger**, PM World Journal, 4, 1–9.
- [7] Bergman, T. L., Lavine, A. S., Incropera, F. P., and Dewitt, D. P., 2011, **Fundamentals Of Heat And Mass Transfer**, 7th ed., (L. Ratts, S. Dumas, and T. Kulesa, Eds., USA, 705–739.

	<p>Steven Owen Yosua Siagian menyelesaikan studi Strata-1 di Universitas Udayana, Program Studi Teknik Mesin, Pada tahun 2021.</p>
<p>Topik penelitian skripsi yang diminati adalah bidang konversi energi.</p>	