

Analisa Kerusakan *Thrust Bearing* Turbin Pengaruh Kinerja Pelumas Di Pltu Pt. Pln Np Up Belawan

Irin Mayrini¹, Tomi Abdillah^{2*}, Supriadi³

Program Studi Teknik Mesin, Universitas Tjut Nyak Dhien, Medan, Indonesia

*Email; tommy.abdillah@gmail.com & Email : Irin.mayrini@gmail.com

ABSTRACT

The function of lubricants for combustion engine technology and energy conversion machines is very important. It is like a human body without blood will experience death. Steam turbines are a source of electrical energy that can produce large amounts of electrical power. Steam turbines can work well with a number of components needed, including a lubrication system. When the turbine rotates, friction occurs between the bearings and the generator, so to minimize friction and wear, lubricants are needed. Lubricants not only function to prevent wear and tear but also function to transfer heat, remove dirt and cool turbine and generator bearings. A good lubrication system will greatly influence the working reliability of the steam turbine with optimal electrical power production results. On the other hand, if the turbine lubricant system does not work optimally, friction and wear will occur and cause corrosion which will result in damage to the steam turbine thrust bearing components. The research method used is qualitative research, namely data collection through field observations, interviews, lubricant tests in the laboratory and bibliography. The conclusion of this research: the reason the steam turbine lubrication system is not optimal is that the lubricant is contaminated with solid and liquid particles, especially water contamination. This is based on the results of lubricant analysis in the tribology laboratory on November 6 2023 with a lubricant usage period of 11,775 km and water contamination in the lubricant of 4,202 ppm. This figure exceeds the minimum threshold of 200 ppm. Then the next sampling on December 9 2023 with a lubricant usage period of 12,495 Km found water content contamination of 1,064 ppm. And then for the last sampling on July 23 2024 with a lubricant usage period of 16,815 km, water content contamination was still found at 1,165 ppm. After further inspection by the maintenance team in the field, it was found that the source of the water contamination problem came from a leak in the steam turbine gland because the seal strip had over-clearance due to its long life time. This causes some of the turbine steam to enter the lubricant in the bearing. This damage will be repaired during the Major Overhaul because the turbine must be dismantled. A temporary solution, a separator is installed continuously to separate oil and water.

Keywords: Steam Turbine, Generator, Axial Bearing, Lubricating System, Viscosity

PENDAHULUAN

Turbin uap adalah mesin konversi energi dengan mengkonversikan energi kalor menjadi energi mekanik dan energi mekanik menjadi energi listrik pada generator. Dimana komponen tersebut merupakan komponen vital yang berfungsi merubah secara langsung energi panas yang terkandung didalam uap menjadi gerak putar pada poros. Poros turbin ini di kopel dengan poros generator sehingga generator dapat menghasilkan listrik. Ketika turbin berputar maka akan terjadi gesekan antara poros turbin dengan bantalan (Bearing). Hal ini akan menimbulkan panas yang bila berlebihan dapat mengakibatkan kerusakan material. Untuk mengurangnya diperlukan sistem pelumasan pada turbin uap. Sistem pelumasan pada turbin uap ini tidak hanya berfungsi untuk mengurangi gesekan saja, namun juga berfungsi untuk memindahkan panas, memindahkan kotoran dan mendinginkan bantalan turbin dan generator[1].

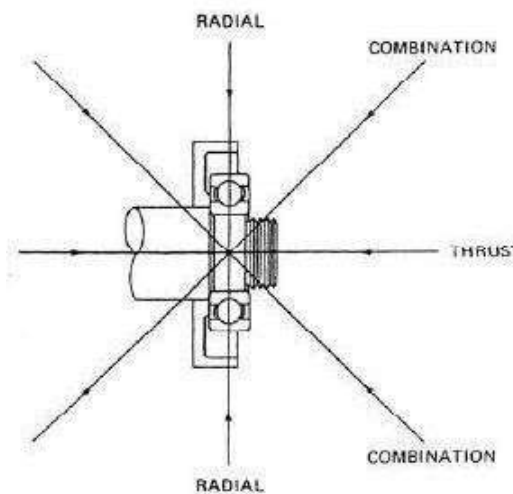
Fungsi pelumas bagi teknologi motor bakar dan mesin konversi energi sangat penting. Ibarat tubuh manusia tanpa darah akan mengalami kematian. Turbin uap dapat bekerja dengan baik dengan sejumlah komponen yang dibutuhkan diantaranya adalah sistem pelumasan. Bantalan turbin harus dilumasi untuk mencegah kerusakan yang disebabkan oleh keausan yang menyebabkan

◆ peningkatan suhu. Poros generator dan turbin perlu diangkat sebelum memulai operasi. Sistem *jacking oil* digunakan untuk fungsi ini. Tujuan pelumasan pada bantalan turbin uap adalah untuk memberikan irisan minyak hidrodinamik antara bantalan dan poros serta untuk menyediakan aliran minyak untuk mempertahankan logam putih dari bantalan dibawah temperature 110 °C.

Bagaimana optimalisasi pemeliharaan pencegahan (*Predective maintenance*) sistem pelumasan *thrust bearing* turbin uap untuk mencegah *unschedule down time* di PLTU PT. PLN NP UP Belawan. Dan bagaimana langkah-langkah tindakan untuk mengatasi kerusakan thrust bearing turbin uap di PLTU PT. PLN NP UP Belawan?

Bantalan (Bearing)

Bearing (bantalan) menjaga poros (*shaft*) agar selalu berputar terhadap sumbu porosnya atau juga menjaga suatu komponen yang bergerak linear agar selalu berada pada jalurnya. Jadi, jika disamakan pada gedung maka bantalan dalam permesinan dapat disamakan dengan pondasi pada suatu gedung (Erinofiardi, 2011).



Gambar 1. Arah beban pada bantalan

Tabel 1. Perbedaan bantalan gelinding dan bantalan luncur

Aspek Pembeda	Bantalan Gelinding	Bantalan Luncur
Prinsip dasar	Pada bantalan gelinding terjadi gesekan gelinding antara elemen yang berputar dengan elemen gelinding.	Pada bantalan luncur terjadi gesekan luncur antara poros dan bantalan, karena permukaan poros ditumpu oleh permukaan bantalan dengan perantaraan pelumas.
Tumpuan yang dapat diberikan (umumnya)	Poros putaran rendah dan beban yang kecil.	Poros putaran tinggi dan beban yang besar.
Konstruksi	Rumit, sehingga sulit dilakukan bongkar pasang	Sederhana, sehingga mudah dilakukan bongkar pasang
Proses pembuatan	Sulit, dilakukan dalam standarisasi (dengan berbagai bentuk dan ukuran) supaya menekan biaya produksi serta memudahkan penggunaan. Sangat tinggi baik dalam bentuk maupun ukuran,	Mudah
Ketelitian	sehingga bantalan jenis ini hanya dapat dibuat pabrik-pabrik tertentu.	Tidak setinggi bantalan gelinding.

Aspek Pembeda	Bantalan Gelinding	Bantalan Luncur
Gesekan yang ditimbulkan	Sangat kecil dan relatif konstan.	Sangat besar pada saat mulai jalan, sehingga membutuhkan momen awal yang besar.
Panas yang dihasilkan dari gesekan	Cukup kecil, tidak membutuhkan pendinginan khusus.	Cukup besar (terutama pada beban yang besar), sehingga membutuhkan pendinginan khusus supaya panasnya dapat berkurang.
Sistem pelumasan	Sangat sederhana (minimum, bahkan ada yang tidak memerlukan pelumasan kembali), tetapi tidak dapat meredam tumbukan dan getaran, sehingga menghasilkan suara berisik pada putaran tinggi.	Tidak sederhana, tetapi mampu meredam tumbukan dan getaran, sehingga relatif lebih tenang dan hampir tidak menghasilkan suara.
Harga (umumnya)	Lebih mahal	Lebih murah

Jarak antara sudu tetap dan sudu jalan dibuat kecil sekali 0,6 micron cm. Untuk memonitor gerakan ke arah aksial maka dilengkapi dengan minyak mengalir dan dipancarkan ke torak. Dengan Bergeraknya torak ke arah aksial maka tekanan minyak diteruskan ke rangkain trip turbin. Kebanyakan turbin menggunakan bantalan aksial jenis Kingsbury bentuk meruncing (tapered land[2]).



Gambar 2. Poros Turbine Uap dan Cover Bantalan Aksial (Thrust Bearing)

Bantalan aksial (Thrust bearing) yang digunakan dalam turbin uap umumnya berbantalan miring. Sudut kemiringan dapat bervariasi dengan kapasitas beban bantalan. Umumnya dua bantalan dorong dipasang dalam konfigurasi depan-ke-depan atau belakang-ke-belakang untuk menyeimbangkan gaya dorong rotor aksial di kedua arah. Akhir-akhir ini, dua bantalan dorong dipasang di sisi bantalan jurnal, sehingga menjadi jenis bantalan gabungan[3].

Turbin Uap

Turbin uap merupakan suatu penggerak mula yang mengubah energi potensial uap menjadi energi kinetik dan selanjutnya diubah menjadi energi mekanis dalam bentuk putaran poros turbin. Poros turbin, langsung atau dengan bantuan roda gigi reduksi, dihubungkan dengan mekanisme yang akan digerakkan. Tergantung pada jenis mekanisme yang digunakan, turbin uap dapat digunakan pada berbagai bidang seperti pada bidang industri, untuk pembangkit tenaga listrik dan untuk transportasi. Pada proses perubahan energi potensial menjadi energi mekanisnya yaitu dalam bentuk putaran poros dilakukan dengan berbagai cara. Pada dasarnya turbin uap terdiri dari dua bagian utama, yaitu stator dan rotor yang merupakan komponen utama pada turbin kemudian di tambah komponen lainnya yang meliputi pendukungnya seperti bantalan, kopling dan sistem bantu

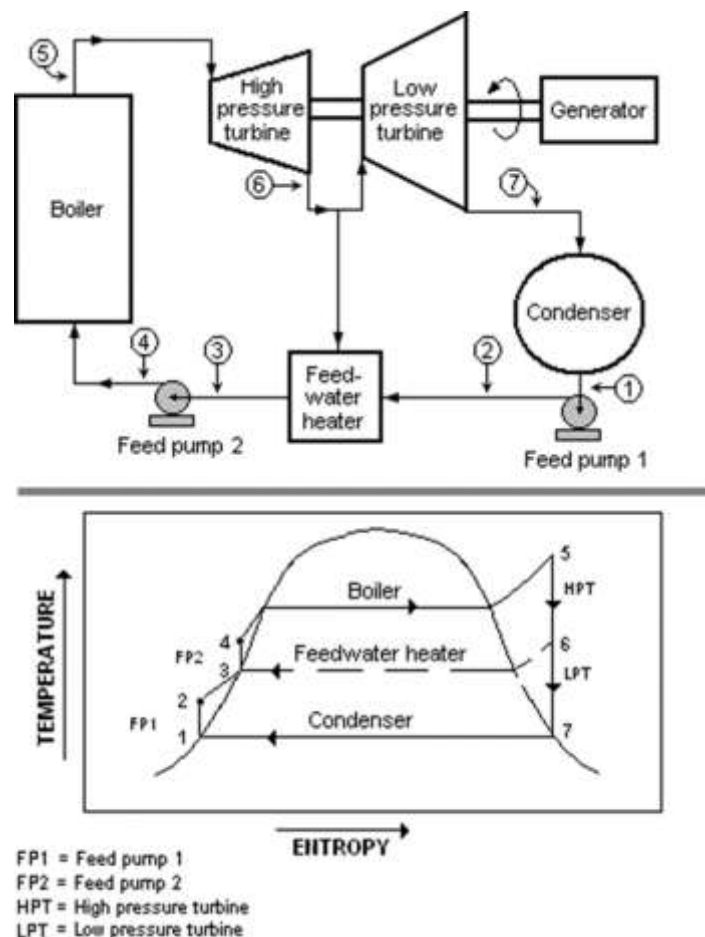
lainnya agar kerja turbin dapat lebih baik. Sebuah turbin uap memanfaatkan energi kinetik dari fluidakerjanya yang bertambah akibat penambahan energi termal.

Turbin uap adalah suatu penggerak mula yang mengubah energi potensial menjadi energi kinetik dan energi kinetik ini selanjutnya diubah menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran poros turbin. Poros turbin langsung atau dengan bantuan elemen lain, dihubungkan dengan mekanisme yang digerakkan. Tergantung dari jenis mekanisme yang digerakkan turbin uap dapat digunakan pada berbagai bidang industri, seperti untuk pembangkit listrik[6].

Spesifikasi Turbin Uap PT. PLN NP UP Belawan

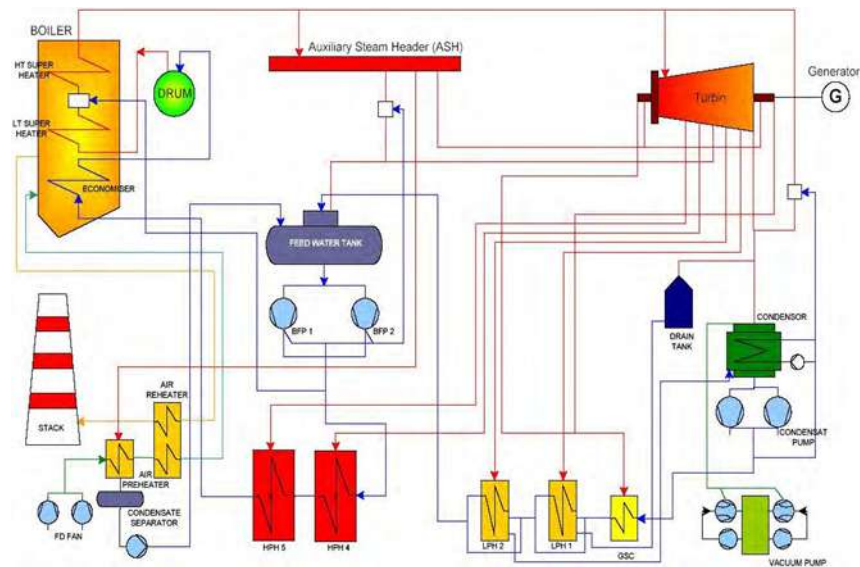
Adapun spesifikasi Turbin Uap PT. PLN NP UP Belawan sebagai berikut :

- Merk : QING DAO JIENENG
- Daya Dihasilkan : 25.000 KW
- Kecepatan Turbin : 3000 Rpm
- Kecepatan Generator : 3000 Rpm
- Tekanan Uap : 8,83 Mpa
- Temperatur Uap : 535 °C
- Putaran : 1677 Rpm



Gambar 3. Skema Proses Kerja pada PLTU

Walaupun siklus fluida kerjanya merupakan siklus tertutup, namun volume air dalam siklus pada PLTU ini akan mengalami pengurangan. Pengurangan volume air ini dapat disebabkan oleh kebocoran-kebocoran pada instalasi pemipaan, safety valve akibat tekanan fluida berlebih, atau yang lainnya baik disengaja maupun tidak disengaja. Untuk mengganti volume air yang berkurang, maka diperlukan penambahan air kedalam siklus. Kriteria air penambah (make up water) ini harus sama dengan air yang ada dalam siklus[9].



Gambar 4. Diagram Siklus Aliran Air dan Uap pada PLTU Belawan

METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan adalah metode penelitian kualitatif yaitu penelitian analisa kualitatif berdasarkan pada adanya hubungan sistematis antara variable yang sedang diteliti, tujuan analisa, data kualitatif yaitu agar peneliti mendapatkan makna hubungan variable-variable sehingga dapat digunakan untuk menjawab masalah yang dirumuskan dalam penelitian. Hubungan antar semantik sangat penting karena dalam analisa kualitatif peneliti tidak menggunakan angka-angka seperti pada analisa kuantitatif. Prinsip pokok teknik analisa data kualitatif adalah mengolah dan menganalisa data-data yang terkumpul menjadi data sistematis, teratur, terstruktur dan mempunyai makna. Untuk menunjang kelengkapan pembahasan penulisan karya ilmiah terapan ini, diperoleh data dan sumber data. Jenis data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas data Kualitatif, data yang biasa peneliti dapatkan yaitu langsung dari Pembangkit Listrik Tenaga Mesin Gas Uap (PLMTGU) PT. PLN NP UP Belawan. Dan sumber data operasi turbin uap dan hasil uji laboratorium analisa pelumas (Used oil analysis).

Sumber data

a. Data Primer

Data ini merupakan data yang diperoleh secara langsung dari Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) dengan cara melakukan survey dan wawancara langsung dengan pekerja dan Supervisor di lapangan.

b. Data Sekunder

Data ini merupakan data yang diperoleh dari literatur-literatur yang relevan dan jurnal dan skripsi yang ada hubungannya dengan masalah dan merupakan data pelengkap dari data primer yang didapat dari perusahaan serta hal-hal lain yang berhubungan dengan penelitian ini. Data sekunder merupakan data yang tidak diusahakan sendiri pengumpulannya oleh peneliti. Data ini termasuk sebagai data pendukung dari data primer.

Metode Pengumpulan Data

Data dan informasi yang diperlukan untuk penulisan proposal penelitian ini dikumpulkan melalui metode Lapangan (Field Research). Penelitian yang dilakukan dengan cara mengadakan peninjauan langsung pada obyek yang diteliti. Data dan informasi dikumpulkan melalui :

a. Observasi

Mengadakan pengamatan secara langsung dilapangan di Pembangkit Listrik Tenaga Uap

(PLTMGU) PT. PLN NP UP Belawan. Dalam hal ini penulis melakukan pengamatan langsung turbin uap dan perawatan optimalisasi sistem pelumasan turbin uap.

b. Wawancara

Mengadakan tanya jawab secara langsung dengan para pekerja dilapangan dan supervisor turbin uap tentang kondisi. Metode wawancara ini sangat efektif untuk mendapatkan penjelasan yang lebih rinci mengenai pertanyaan-pertanyaan atau banyak hal yang tidak dipahami dalam hal permasalahan yang berhubungan dengan topik yang akan dibahas.

Metode Dokumentasi

Dokumentasi adalah teknik pengumpulan data yang digunakan penulis dengan mengambil foto kondisi sistem pelumasan turbin uap.

a. Tinjauan Kepustakaan (*Library Research*)

Yaitu penelitian yang dilakukan dengan cara membaca dan mempelajari *literature*, buku-buku dan tulisan-tulisan yang berhubungan dengan masalah yang dibahas, untuk memperoleh landasan teori yang akan digunakan dalam membahas masalah yang diteliti.

b. Metode Studi Pustaka

Adalah suatu cara penelitian untuk mengumpulkan data dengan menggunakan buku-buku referensi dan literatur yang ada hubungannya dengan penelitian yang diadakan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisa Kerusakan Bantalan Aksial (*Thrust Bearing*) Pengaruh Getaran (*Vibrasi*)

Bantalan aksial (*Thrust bearing*) yang menopang rotor turbin uap mengalami kegagalan yang berakibat pada kerusakan komponen lainnya. Kegagalan disebabkan oleh terjadinya getaran (*Vibrasi*) melebihi batas toleransi maka terjadi rubbing antara bagian yang berputar dan bagian yang diam. Getaran (*Vibrasi*) juga dapat menyebabkan kerusakan pada poros, seal dan bearing. Pada umumnya sensor vibrasi ditempatkan pada bearing metal. Sensor ini mengukur besarnya vibrasi dan mengirim signal listrik yang sebanding dengan dengan gerak aksial poros. Signal diterima oleh vibrasi recorder yang mengindikasikan nilai penyimpangan aksial dalam gerakan poros. Walaupun setiap turbin mempunyai batas toleransi yang berbeda, namun nilai vibrasi pada operasi normal pada umumnya kurang dari 3 mils (Seperseribu inchi). Instrumen ini mengukur gerakan aksial (*Axial vibration*) dari poros yang relatif terhadap rumah bantalan (*Bearing housing*). Perhitungan ini memberikan indikasi awal terjadinya kerusakan. Pengukuran getaran dapat dinuat horizontal atau vertikal terhadap shaft (X – Y)[15].

Analisa Keausan Bearing



Gambar 5. Lapisan Bantalan Mengalami Gesekan Dan Keausan

Dari gambar diatas terlihat bantalan aksial (*Thrust Bearing*) dapat diuraikan masalah sesuai dengan kondisi dilapangan :

1. Bantalan aksial ini mengalami goresan dan keausan yang terjadi berulang-ulang sehingga berpengaruh terhadap ukuran dan diameter menjadi berkurang. Bila tidak ada jarak aman antara bantalan dan poros (*Unclearance*) berakibat potoran poros menimbulkan getaran (*Vibrasi*).

2. Keausan logam bantalan terjadi berawal dari pergesekan antar satu permukaan logam dengan logam yang lain (*Metal to metal contact*) yaitu antara poros atau rotor turbin dengan lapisan bantalan. Dimana fungsi pelumas tidak bekerja optimal menjadi pelapis film untuk mengurangi terjadinya gesekan dan keausan. Kinerja pelumas menurun bisa disebabkan oleh terkontaminasinya pelumas unsur zat lain seperti air sehingga viskositas pelumas menjadi menurun dan encer.
3. Bantalan atau bearing bisa juga mengalami keausan disebabkan oleh pemasangan yang kurang tepat tidak sesuai standart yang ditentukan. Kesalahan pada saat pemasangan, diantaranya :
 - a. Pemasangan yang terlalu longgar, akibatnya cincin dalam atau cincin luar yang berputar yang menimbulkan gesekan dengan poros.
 - b. Pemasangan yang terlalu erat, akibatnya ventilasi atau celah yang kurang sehingga pada saat berputar suhu bantalan akan cepat meningkat dan terjadi konsentrasi tegangan yang lebih.
 - c. Terjadi pembenjolan pada jalur jalan atau pada roll sehingga bantalan saat berputar akan tersendat-sendat.

Analisa Hasil Uji Pelumas Bantalan Di Laboratorium Tribologi

Untuk mendukung program pemeliharaan turbin (*Maintenance*) diperlukan pengujian pelumas turbin dilaboratorium Tribologi secara berkala. Laboratorium uji pelumas tidak hanya untuk melakukan pengujian kualitas pelumas tetapi juga untuk bisa mengetahui umur pelumas dan juga mengetahui keadaan turbin. Pelumas bantalan turbin telah dilakukan pengujian dilaboratorium Oil Clinic Pertamina dengan rangkuman sebagai berikut :

CUSTOMER : PT.PLN BELAWAN
 KOMPONEN : BEARING TURBINE OIL
 PRODUCT : TURBOLUBE XT 32

Tabel 2. Analisa Oli

Analysis	Unit	DATE SAMPLE				LIMIT	
		09/12/2023	06/11/2023	04/10/2023	06/06/2023	MIN	MAX
Running Hour Oil	KM or Hour	12495	11775	11055	8175		
Running Hour Engine	Hour	712770	195090	197250	194370		
TAN	mg.KOH/g	0.02	0.04	0.05	0.06		
Nitration	A/0.1 mm	0.00	0.00	0.00	0.01	R	R
Oxidant	A/0.1 mm	0.00	0.00	0.00		R	R
Cleanliness							
NAS 1638	-	12	12	8	7		
ISO 4406	-	26/24/16	17/16/13	17/15/11	17/14/11		
Sodium	ppm	11	0	4	4		20
Silika	ppm	1	2	1	0		25
Viscosity @ 100 degree C	cSt	6.136	-	6.263	6.078	R	R
Viscosity @ 40 degree C	Cst	32.83	42.48	32.50	32.51	26.232	42.627
Aluminium	Ppm	0	0	1	0		5
Cromium	Ppm	0	0	0	0		5
Cuprum	Ppm	0	0	1	0		15
Ferrum	Ppm	0	0	0	0		20
Plumbum	Ppm	0	0	0	2		5
Stannium	Ppm	0	0	0	0		R
Water Content	Ppm	1064	4202	60	30		200

Tabel 3. Data terbaru pengujian pelumas bekas (Used Oil Sample) PLTU Belawan

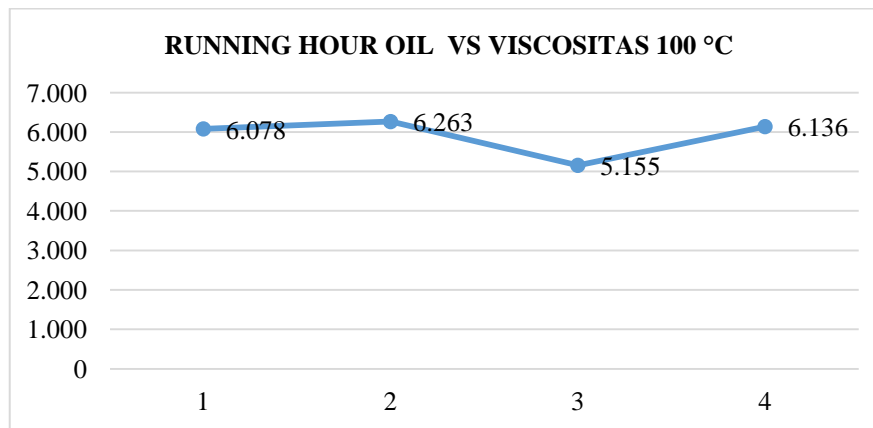
Analysis	Unit	DATE SAMPLE	LIMIT
		23/07/2024	

Running Hour Oil	KM or Hour	16815	MIN	MAX
Running Hour Turbine	Hour	717090		
Water	% W	1.652	0.04	0.10

Interpretasi Hasil Analisa Pelumas Bearing Turbin Dilaboratorium Tribologi
 Sesuai dengan data sampel pelumas Bearing Turbin :

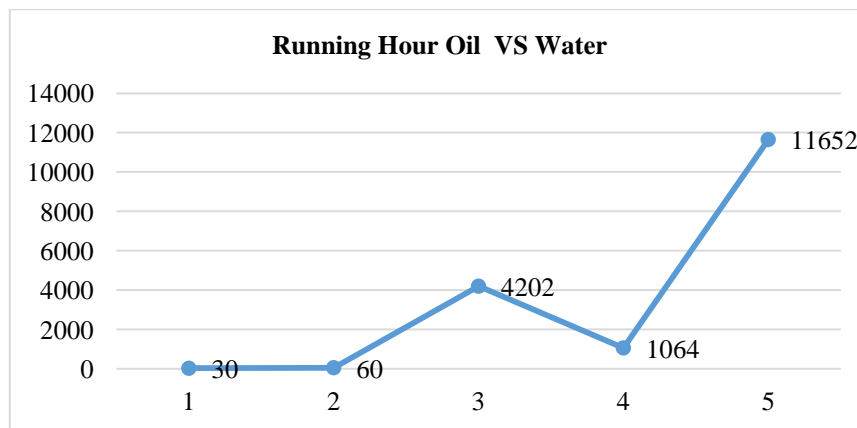
Grafik Trend Performa Pelumas

a. Running Hour Oil Turbin VS Viskositas



Gambar 6. Grafik oli dengan Viskositas pada Temp 100°C

b. Running Hour Oil Turbine VS Water Content



Gambar 7. Grafik Oli dengan Air

KESIMPULAN

1. Dari hasil analisa manajemen pelumas untuk menjaga kualitas pelumas perlu dilakukan proses pengiriman (*Delivery*), proses penurunan (*Handling*) dan proses penyimpanan (*Storage*) yang baik dan benar. Penempatan drum pelumas dengan posisi tegak diruang terbuka akan menampung air hujan dan memicu terjadinya teori drum pelumas bernafas disaat malam hari dan air terkontaminasi dengan pelumas.
2. Bantalan aksial (*Thrust bearing*) yang menopang rotor turbin uap mengalami kegagalan yang berakibat pada kerusakan komponen lainnya. Kegagalan disebabkan oleh terjadinya getaran (*Vibrasi*) melebihi batas toleransi maka terjadi rubbing antara bagian yang berputar dan bagian yang diam. Getaran (*Vibrasi*) juga dapat menyebabkan kerusakan pada poros, seal dan bearing.
3. Bantalan atau bearing bisa juga mengalami keausan disebabkan oleh pemasangan yang kurang

tepat tidak sesuai standart yang ditentukan. Kesalahan pada saat pemasangan.

4. Pelumas bantalan turbin telah dilakukan pengujian dilaboratorium Oil Clinic Pertamina dengan rangkuman sebagai berikut : Pada tanggal 9 Desember 2023 dengan Running Hour Oil Turbin 12495 jam menunjukkan bahwa kondisi pelumas dalam status Attention atau Perhatian sebab pelumas terkontaminasi air sebesar 1064 (ppm). Angka ini sangat tinggi melebihi dari ambang batas yaitu 200 (ppm). Pelumas terkontaminasi dengan air dapat berpengaruh terhadap Viscositas pelumas berkurang atau menjadi encer. Kemudian pada tanggal 6 November 2023 dengan Running Hour Oil Turbin 11775 jam menunjukkan bahwa kondisi pelumas dalam status Attention atau Perhatian sebab pelumas terkontaminasi air sebesar 4202 (ppm). Angka ini mengalami trend kenaikan yang sangat tinggi melebihi dari ambang batas yaitu 200 (ppm). tanggal 4 Oktober 2023 dengan Running Hour Oil Turbin 11055 jam menunjukkan bahwa kondisi pelumas dalam status normal. Kadar air sebesar : 60 (ppm), Viscositas 100 °C : 6,263 Cst, TAN : 0,05 mg.Koh dan Aluminium 1 (ppm). Kemudian Pada tanggal 6 Juni 2023 dengan Running Hour Oil Turbin 8175 jam menunjukkan bahwa kondisi pelumas dalam status normal. Kadar air sebesar : 30 (ppm), Viscositas 100 °C : 6,078 Cst, TAN : 0,06 mg.Koh dan Aluminium 0 (ppm). Pada tanggal 23 Juli 2024 dengan Running Hour Oil Turbin 16.815 jam menunjukkan bahwa kondisi pelumas kembali status warning disebabkan kadar air terkontaminasi didalam pelumas sangat tinggi yaitu sebesar 1.1652 Hal tersebut setelah dilakukan pemeriksaan lebih jauh oleh tim pemeliharaan dilapangan, didapati masalah berasal dari kebocoran gland steam turbin karena seal strip nya sudah over clearance factor dari lifetime yang cukup lama. Hal ini yang menyebabkan sebagian uap turbin masuk ke sebagian pelumas pada bearing. Kerusakan tersebut akan diperbaiki pada saat MO (Mayor Overhaul), dikarenakan harus bongkar turbin. Solusi sementara, dipasangkan separator secara kontinu untuk memisahkan antara minyak dan air.

Saran

1. Penulisan Skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan sehingga penulis membutuhkan koreksi dan saran baik dari Dosen Pembimbing, Dosen Penguji dan para pembaca.
2. Menjalankan setiap prosedur perawatan sesuai dengan sistem perencanaan (*Plan maintenance system*) yang telah disusun sehingga kinerja pelumas dapat optimal.
3. Hasil analisa ini tidak bersifat mengikat karena dari aspek akademis sehingga sebatas masukan kepada PT PLN NP UP Belawan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. F. Wulandari, D. Lutfiananda, dan K. Sumada, "Turbin Uap Dan Generator (Tg-65) Pada Pembangkit Listrik Unit Sistem Utilitas Departemen Produksi Iiia Pt Petrokimia Gresik," vol. 4, no. 1, hal. 67–74, 2023, doi: 10.51510/sinergipolmed.v4i1.1036.
- [2] A. Subardi, "Analisa Perbandingan Jenisball Bearingterhadap Keausan Pada Dinding Diameter Luar Dan Dalam," *Jurnal Flywheel*, vol. 2, hal. 1–14, 2009.
- [3] B. Oni Pugastri dan M. Tauviquirrahman, "Perbandingan Kontur Tekanan Antara Permodelan Aliran Turbulen Dan Laminar Pada Kasus Thrust Bearing," *Jurnal Teknik Mesin S-1*, vol. 10, no. 4, hal. 541–546, 2022.
- [4] R. E. Rinaldo dan M. F. La Ode, "Pengaruh Kerusakan Thrust Bearing Turbin Air terhadap Suhu Unit 4 pada PLTA Maninjau," *Prosiding Seminar Rekayasa Teknologi (SemResTek)*, hal. 140–144, 2021.
- [5] H. Syarif, L. Purnamawati, dan P. N. Jakarta, "Analisa pengaruh Sistem pelumas Terhadap Ketahanan Bearing pada Turbin Uap di PLTU Ombilin.," *Teknik Mesin - Politeknik Negeri Jakarta.*, hal. 126–134, 2022.
- [6] I. A. ISLAMI, "Penerapan Preventive Maintenance Pada Turbin Uap Di PLTU," *Jurnal Energi Dan Manufaktur*, vol. 15, no. 1, hal. 42, 2023, doi: 10.24843/jem.2022.v15.i01.p06.
- [7] M. T. DR Rahmad Subagyo S.T, *Bahan Ajar Stasiun Pembangkit Tenaga*. Banjar Baru.: Universitas Lambung Mangkurat, 2019.
- [8] M.Mustangin, S. H., F. M., dan R. S., *Turbin Uap*, Cetakan Pe. Yogyakarta: Poltek LPP Press, 2018.

- [9] H. Abbas, J. Jamaluddin, M. Arif, dan A. Amiruddin, “Analisa Pembangkit Tenaga Listrik Dengan Tenaga Uap Di Pltu,” *ILTEK : Jurnal Teknologi*, vol. 15, no. 2, hal. 103–106, 2020, doi: 10.47398/iltek.v15i2.528.
- [10] Darmanto, “Mengenal Pelumas Pada Mesin,” *Momentum*, vol. 7, no. 1, hal. 5–10, 2011.
- [11] I. Syafa’at, “Tribologi, Daerah Pelumasan Dan Keausan,” *Jurnal Momentum UNWAHAS*, vol. 4, no. 2, hal. 21–26, 2008.
- [12] M. Rizal, “Analisa Dampak Penurunan Kinerja Lube Oil Cooler pada Turbin di PLTU Belawan- Skripsi.” no. March, hal. 1976, 2020.
- [13] A. N. Saputra, A. Puspawan, dan ..., “Lube Oil Cooler Performance Analysis Before and After Maintenance Outage at PLTGU,” ... *Scientific Journal, Universitas Bengkulu.*, vol. 5, no. 2, hal. 19–27, 2021.
- [14] A. Budihadi, “Optimalisasi Lube Oil Cooler Tipe Fin & Tube Heat Exchanger Pada Proses Pelumasan Menggunakan Metode Ntu (Number Transfer of Unit),” *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 12, no. 3, hal. 184, 2023.
- [15] F. Huda dan G. Alexandro, “Analisis Getaran untuk Mendeteksi Kerusakan Bearing pada Drum Cylinder Dryer 1 Area Paper Machine-5 (PPM-5) PT. Indah Kiat Pulp and Paper Perawang,” *Ajie*, vol. 06, no. September, hal. 147–154, 2022, doi: 10.20885/ajie.vol6.iss3.art6.