



Analisis Kenaikan *Temperature* pada *Turbine Guide Bearing* untuk Pemeliharaan Periodik Unit 2 PLTA Maninjau

Bagas Adi Pratama^{1✉}, Mukhnizar², Zulkarnain³, Veny Selviyanty.YH⁴, Risal Abu⁵
Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik dan Perencanaan, Universitas Ekasakti
DOI: 10.31004/jutin.v6i3.17093

✉ Corresponding author:
(Venyselviyantyyh@unespadang.ac.id)(bagasadi.holcim@gmail.com)

Article Info

Abstrak

Kata kunci:
Temperature Turbine Bearing, Misalignment, Clearance Bearing

Turbine Bearing merupakan peralatan yang digunakan untuk menjaga poros agar selalu berputar terhadap sumbu porosnya, atau juga menjaga suatu komponen yang bergerak *linier* agar selalu berada pada jalurnya. PLTA Maninjau dalam operasinya juga menggunakan *Turbine Bearing* dengan jenis *Journal Bearing*. Pada *turbine bearing* PLTA Maninjau mengalami ketidaknormalan yaitu mengalami kenaikan *temperature bearing* dari 60°C menjadi 80°C. Melalui penelitian ini penulis melakukan *root cause analysis* penyebab kenaikan *temperature turbine bearing* dengan metoda *fishbone diagram* dan *failure mode and effects analysis (FMEA)*. Setelah dilakukan penelitian dengan metoda observasi melalui pengambilan data dan pengolahan data, didapatkan hasil penyebab kenaikan *temperature turbine bearing* unit 2 PLTA Maninjau yaitu terdapat *Misalignment* yang disebabkan oleh *Clearance Bearing* yang kecil yaitu 0.2 mm yang seharusnya 0.4 mm sesuai *design value*. Dan mengalami penurunan efektifitas air pendingin dari 18,41% menjadi 1,15%. Sehingga perlu dilakukan *corrective maintenance* pada unit 2 PLTA Maninjau.

Abstract

Keywords:
Temperature Turbine Bearing, Misalignment, Clearance Bearing

Turbine Bearing is a piece of equipment used to keep the shaft rotating about its axis or to keep a linearly moving component on track. The operation at PLTA Maninjau also makes use of a *Turbine Bearing* with a *Journal Bearing* type. The *turbine bearing* of the Maninjau hydropower plant experienced an abnormality, with the bearing temperature rising from 60°C to 80°C. Using the *fishbone diagram* method and *failure mode and effects analysis*, the authors conducted a *root cause analysis* of the causes of the increase in turbine bearing temperature in this study (FMEA). The cause of the increase in the temperature of the turbine bearing unit 2 of the Maninjau Hydropower Plant was found to be a misalignment caused by a small bearing clearance of 0.2 mm, which should have been 0.4 mm according to the design value, after conducting research using the observation method through data collection and data processing. And reduced cooling water effectiveness from 18.41% to 1.15%. As a result, *corrective maintenance* on Maninjau Hydropower Unit 2 is required.

1. INTRODUCTION

Peranan listrik sangat penting bagi setiap lapisan masyarakat, baik pada sektor rumah tangga, penerangan, komunikasi, industri dan sebagainya. Kemajuan teknologi di segala bidang meningkat dengan begitu cepat, kemajuan ini membawa konsekuensi peningkatan kebutuhan akan daya listrik. Listrik merupakan salah satu bentuk energi yang banyak dibutuhkan, karena energi listrik mudah dalam penyaluran dan dapat dengan mudah dirubah ke bentuk energi (Harifudin. 2007).

PLTA umumnya terdiri dari generator yang diputar oleh turbin. Turbin adalah sebuah mesin penggerak yang memanfaatkan energi dari aliran fluida seperti air dan gas. Sedangkan turbin air merupakan turbin yang bekerja dengan menggunakan fluida air yang mengalir dari tempat yang lebih tinggi ke tempat yang lebih rendah. Dalam hal ini air memiliki energi potensial yang akan menjadi mekanik untuk menggerakkan sudu turbin. Energi mekanik ini kemudian diubah menjadi energi listrik oleh generator (Idrus, 2011).

Dalam sebuah generator dan turbin, terdapat poros yang berputar. Poros tersebut ditumpu oleh bearing. Bearing (bantalan) adalah elemen mesin yang menumpu poros, sehingga putaran atau gerakan bolak – baliknya dapat berlangsung secara halus, aman, dan mempunyai umur yang panjang. Jika bearing tidak berfungsi dengan baik maka prestasi seluruh sistem tidak dapat bekerja secara semestinya (Hermawan. 2012).

Pada saat ini temperatur *turbine guide bearing* mengalami kenaikan temperature dari operasi normal yaitu 60 °C sampai dengan temperatur jenuh yaitu 80 °C (Alarm 65 °C, batas maksimal diizinkan beroperasi 70 °C). Peringatan temperatur *turbine guide bearing* juga berdampak pada banyak *service request* (kartu insiden) kerusakan yang dibuat oleh operator mesin pembangkit yang mengakibatkan kurangnya nilai keandalan peralatan tersebut. Penelitian ini merumuskan masalah penyebab dan faktor kenaikan *Temperature* pada *Turbine Guide Bearing* unit 2 PLTA Maninjau dan menemukan solusi dari permasalahan ini. Rumusan Masalah

Menurut Wibowo, dkk. (2018) *Root Cause Analysis (RCA)* merupakan suatu metode untuk penyelesaian permasalahan, mencoba mengidentifikasi faktor penyebab dari suatu permasalahan atau kejadian yang tidak diharapkan. *Root Cause Analysis* merupakan suatu metode untuk membantu menjawab pertanyaan ‘apa yang terjadi?’, ‘bagaimana bias terjadi?’, dan ‘mengapa itu terjadi?’. Tujuan utama metode ini adalah untuk mengidentifikasi faktor yang dinyatakan dalam bentuk alami, besaran, lokasi dan waktu akibat dari kebiasaan, tindakan dan kondisi tertentu yang harus diubah untuk menghindari kesalahan yang tidak perlu.

2. METODEDES

Adapun langkah-langkah pengumpulan data sebagai berikut :

1. Mempersiapkan semua alat pendukung, diantaranya *temperature gauge*, *flowmeter*, *dial gauge*, *vibscanner*, *tribology*, kamera dst.
2. Memastikan kondisi equipment dalam keadaan normal beroperasi saat pengambilan data data pendukung
3. Ketika dari peralatan sudah siap, berkoordinasi dengan operator setempat untuk mengetahui kapan unit akan dioperasikan serta memberi tahu akan dilakukan pengumpulan data ketika unit beroperasi.
4. Data diambil ketika unit memiliki beban 100 %, hal ini dilakukan karena memastikan bahwa *temperature* sudah dalam titik jenuh nya agar data dipastikan *actual*.
5. Mengambil data nilai temperature pada *Temperature Gauge* setelah mencapai titik jenuh dalam artian tidak ada kenaikan temperature pada Unit 2 PLTA Maninjau. Pada table dan gambar di bawah ini menunjukkan cara pengambilan data temperature *turbine bearing* unit 2 PLTA Maninjau.



Gambar 1: Temperature Gauge PLTA Maninjau

6. Mengambil debit aliran keluar air pendingin pada *flowmeter* Unit 2 PLTA Maninjau. Pada table di bawah ini menunjukkan cara pengambilan data debit air *turbine bearing* unit 2 PLTA Maninjau.

7. Mengambil data vibrasi dengan menggunakan *vibscanner* Unit 2 PLTA Maninjau. Pada proses pengambilan data vibrasi di lakukan *step by step*. Dimulai dari shaft akan berputar, *full speed no load, full speed full load*. Dilakukan pemantauan dengan menggunakan alat *vibscanner* pada unit 2 PLTA Maninjau. Pada table di bawah ini menunjukan cara pengambilan data *vibrasi turbine bearing* unit 2 PLTA Maninjau.
8. Mengambil sampel oli Shell Turbo T68 pada *Turbin Bearing* Unit 2 PLTA Maninjau. Pada proses pengambilan sample oli dilakukan setelah mesin beroperasi dengan durasi minimum 30 menit. Pada table di bawah ini menunjukan cara pengambilan data Sample oli *Turbine bearing* unit 2 PLTA Maninjau.
9. Mengambil data *alignment* pada saat *Major Overhaul* unit 2 PLTA Maninjau. Pada table di bawah ini menunjukan cara pengambilan data *Alignment Turbine bearing* unit 2 PLTA Maninjau.
10. Berkoordinasi dengan operator local untuk mengumpulkan data dari logsheet harian, untuk data penunjang penulis.
11. Melakukan Analisa terhadap data data yang telah didapatkan.

3. RESULT AND DISCUSSION

Pada Tabel 1 dan 2 dibawah ini menunjukkan data temperatur bearing pada *performance test* yang dilakukan sebelum *Major Overhaul* di tahun 2020. Sedangkan Tabel 2 menunjukkan data temperatur bearing pada *performance test* yang dilakukan sesudah *Major Overhaul* di tahun 2020.



Gambar 3: Pengambilan Data Temperature Bearing Unit 2 PLTA Maninjau

Tabel 4. 1 Data Temperatur Bearing pada Performance Test Sebelum Major Overhaul tahun 2020
Unit 2 PLTA Maninjau

Time	hour.min	00.00	00.15	01.00	01.15	01.45	02.00	02.15	03.30	03.45	05.15	05.30	05.45		
Time Interval	min	0	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15		
Speed	rpm	0	260	300	300	430	430	430	480	500	580	580	580		
Bearing Temperature	IDAL	Gen Upper Guide	□C	31	37	39	40	42	42	42	43	44	45	45	
		Gen Lower	□C	31	34	36	37	42	43	43	46	49	49	49	
		Gen Thrust	□C	31	52	56	57	62	62	63	63	63	64	64	64
		Turbin Guide	□C	32	46	53	54	62	62	62	63	63	64	64	64
		Gen Upper Guide	□C	31	38	40	40	42.3	43	43	44	44.4	45.6	45.7	45.8
	RTD	Gen Thrust 1	□C	31	48	52	52.7	56	57	57	59	59	61.2	61.4	61.6
		Gen Thrust 2	□C	31	48	52	52	56	56	56	58	58	60.1	60.3	60.4
		Gen Lower Guide	□C	30	32	32	32	33.8	34	34	35	35.1	36	36.1	36.7
		Gen Lower Guide Oil	□C	36	40	43	44	47.9	49	49.7	52	52.5	55	55.6	55.8
		Turbine Guide	□C	33	39	43	44.9	47.9	50	50	52	52.9	55	55.8	56.4
Turbine Guide Oil	□C	31	34	37	38	40.3	41	42	43.8	44.3	46.2	46.6	47		

Tabel 4. 2 Data Temperatur Bearing pada Performance Test Sesudah Major Overhaul tahun 2020
Unit 2 PLTA Maninjau

Time	hour.min	00.00	00.15	01.00	01.15	01.45	02.00	02.15	03.30	03.45	05.15	05.30	05.45		
Time Interval	min	0	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15		
Speed	rpm	0	260	300	300	430	430	430	480	500	580	580	580		
Bearing Temperature	IDAL	Gen Upper Guide	□C	31	37	39	40	42	42	42	43	44	45	45	
		Gen Lower	□C	31	34	36	37	42	43	43	46	46	49	49	49
		Gen Thrust	□C	31	52	56	57	62	62	63	63	63	64	64	64
		Turbin Guide	□C	32	46	53	54	62	62	62	63	63	64	64	64
		Gen Upper Guide	□C	31	38	40	40	42.3	43	43	44	44.4	45.6	45.7	45.8
	RTD	Gen Thrust 1	□C	31	48	52	52.7	56	57	57	59	59	61.2	61.4	61.6
		Gen Thrust 2	□C	31	48	52	52	56	56	56	58	58	60.1	60.3	60.4
		Gen Lower Guide	□C	30	32	32	32	33.8	34	34	35	35.1	36	36.1	36.7
		Gen Lower Guide Oil	□C	36	40	43	44	47.9	49	49.7	52	52.5	55	55.6	55.8
		Turbine Guide	□C	33	39	43	44.9	47.9	50	50	52	52.9	55	55.8	56.4
Turbine Guide Oil	□C	31	34	37	38	40.3	41	42	43.8	44.3	46.2	46.6	47		



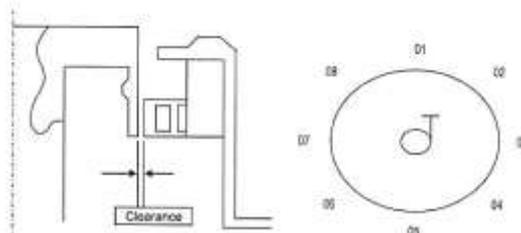
Gambar 4: Pengambilan Data Clearance Unit 2 PLTA Maninjau

Tabel 3 Data Clearance Upper Bearing (Sebelum) Major Overhaul Unit 2 PLTA Maninjau

POSISI	PENGUKURAN 1 (1/100mm)	PENGUKURAN 2 (1/100mm)	TOTAL CLEARANCE (1/100mm)	DESIGN VALUE
1 – 5	10	5	15	26.5 1/100mm +/- 20%
2 – 6	15	5	20	
3 – 7	15	5	20	21.2 s/d 21.8 1/100mm
4 – 8	10	10	20	

Tabel 4 Data Clearance Upper Bearing (Sesudah) Major Overhaul Unit 2 PLTA Maninjau

POSISI	PENGUKURAN 1 (1/100mm)	PENGUKURAN 2 (1/100mm)	TOTAL CLEARANCE (1/100mm)	DESIGN VALUE
1 – 5	15	10	25	26.5 1/100mm +/- 20%
2 – 6	15	10	25	
3 – 7	15	10	25	21.2 s/d 21.8 1/100mm
4 – 8	10	15	25	



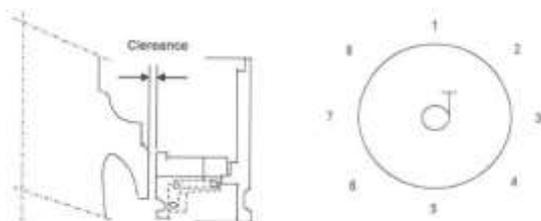
Gambar 5: Posisi Clearance Lower Bearing

Tabel 5 Data Clearance Lower Bearing (Sebelum) Major Overhaul Unit 2 PLTA Maninjau

POSISI	PENGUKURAN 1 (1/100mm)	PENGUKURAN 2 (1/100mm)	TOTAL CLEARANCE (1/100mm)	DESIGN VALUE
1 – 5	10	>30	40	37.5 1/100mm +/- 2%
2 – 6	>10	>25	35	
3 – 7	20	20	40	30 s/d 45.1 1/100mm
4 – 8	35	5	40	

Tabel 6 Data Clearance Lower Bearing (Sesudah) Major Overhaul Unit 2 PLTA Maninjau

POSISI	PENGUKURAN 1 (1/100mm)	PENGUKURAN 2 (1/100mm)	TOTAL CLEARANCE (1/100mm)	DESIGN VALUE
1 – 5	15	40	55	37.5 1/100mm +/- 2%
2 – 6	35	20	55	
3 – 7	40	5	45	30 s/d 45.1 1/100mm
4 – 8	40	0	40	



Gambar 6 Posisi Clearance Turbin Bearing

Identifikasi Masalah

Hasil analisa penyebab terjadinya kenaikan temperatur pada turbine guide bearing unit 2 PLTA maninjau adalah terjadi kenaikan temperature *turbine guide bearing* secara ekstrim berkisar antara 77 – 78⁰ C, data dapat dilihat pada Tabel 14. *Turbine guide bearing* yang digunakan di Unit 2 PLTA Maninjau digunakan sebagai penyangga radial yang berjenis *journal bearing*.

Tabel 7 Data Clearance Turbin Bearing (Sebelum) Major Overhaul Unit 2 PLTA Maninjau

POSISI	PENGUKURAN 1 (1/100mm)	PENGUKURAN 2 (1/100mm)	TOTAL CLEARANCE (1/100mm)	DESIGN VALUE
1 – 5	30	5	35	37.5 1/100mm +/- 2% 30 s/d 45.1 1/100mm
2 – 6	35	0	35	
3 – 7	35	0	35	
4 – 8	25	10	35	

Tabel 8 Data Clearance Turbin Bearing (Sesudah) Major Overhaul Unit 2 PLTA Maninjau

POSISI	PENGUKURAN 1 (1/100mm)	PENGUKURAN 2 (1/100mm)	TOTAL CLEARANCE (1/100mm)	DESIGN VALUE
1 – 5	15	15	30	37.5 1/100mm +/- 2% 30 s/d 45.1 1/100mm
2 – 6	20	10	30	
3 – 7	15	15	30	
4 – 8	20	15	35	

Tabel 9 Data Clearance Turbin Bearing Setelah Ditemukan Kenaikan Temperature Unit 2 PLTA Maninjau

POSISI	PENGUKURAN 1 (1/100mm)	PENGUKURAN 2 (1/100mm)	TOTAL CLEARANCE (1/100mm)	DESIGN VALUE
1 – 5	5	10	15	37.5 1/100mm +/- 2% 30 s/d 45.1 1/100mm
2 – 6	5	10	15	
3 – 7	0	10	10	
4 – 8	5	15	20	



Gambar 7 Pengambilan Data Vibrasi Unit 2 PLTA Maninjau

Tabel 10 Data Hasil Pengukuran Vibrasi Bearing Sebelum Major Overhaul Unit 2 PLTA Maninjau

UNIT	OUT PUT	LOKASI PENGUKURAN	VIBRATION CHECK			RISIKO CHECK		BATASAN VIBRASI RECOMMENDED BY THE MANUFACTURER MECHANICAL VIBRATION RECOMMENDATION BY ISO 10818 PART 1: MACHINE SET IN HYDRO-ELECTRIC POWER GENERATING AND PUMPING PLANTS
			HORIZONTAL Velocity (mm/s rms)	VERTICAL Velocity (mm/s rms)	AXIAL Velocity (mm/s rms)	Turbine (mm)	Turbine (mm)	
1	0% 0 MW	Upper Bracket	0.38	0.39	0.38			Velocity: + 0.4 mm/s rms (Normal (near machine condition)) 0.8 + V x 4.0 mm/s rms (Excessive (prohibited long term operation allowable)) 4.0 + V x 7.1 mm/s rms (Extreme (short term operation allowable)) + 7.1 mm/s rms (Extreme (short term damage))
		Lower Bracket	0.17	0.15	0.24			
		Turbine Bearing	0.27	0.22	0.27			
2	25% 4.35 MW	Upper Bracket	0.39	0.35	0.29			
		Lower Bracket	0.12	0.17	0.2			
		Turbine Bearing	0.44	0.6	0.27			
3	75% 12.75 MW	Upper Bracket	0.44	0.29	0.22			
		Lower Bracket	0.16	0.14	0.19			
		Turbine Bearing	0.48	0.48	0.27			
4	100% 17 MW	Upper Bracket	0.57	0.38	0.29			
		Lower Bracket	0.13	0.13	0.23			
		Turbine Bearing	0.43	1.18	0.55			

Tabel. 11 Data Hasil Pengukuran Vibrasi Bearing Setelah Major Overhaul Unit 2 PLTA Mantinjau

UMF	OUT PUT	LEBAR PENGUKURAN	VIBRATION CHECK			NOISE CHECK		REMARKS
			HORIZONTAL Velocity (mm/s rms)	VERTICAL Velocity (mm/s rms)	Velocity (mm/s rms)	TURBINE UMF	GENSET	
1	50%	Upper Bracket	0.22	0.24	0.33			Maksimal, minimal, rata-rata, standar deviasi, koefisien variasi, dan nilai standar deviasi untuk setiap indikator akan tertera di bawah ini. Maksimal : > 2.5 mm/s Minimal : < 0.5 mm/s Rata-rata : 1.0 mm/s Standar deviasi : < 0.5 mm/s Koefisien variasi : < 0.5
		Turbine Bearing	0.24	0.24	0.33			
		Lower Bracket	0.14	0.2	0.29			
2	50%	Upper Bracket	0.22	0.18	0.31			
		Turbine Bearing	0.24	0.24	0.33			
		Lower Bracket	0.14	0.18	0.26			
3	50%	Upper Bracket	0.22	0.22	0.31			
		Turbine Bearing	0.24	0.24	0.33			
		Lower Bracket	0.14	0.18	0.26			
4	100%	Upper Bracket	0.22	0.22	0.31			
		Turbine Bearing	0.24	0.24	0.33			
		Lower Bracket	0.14	0.18	0.26			
5	17 MW	Upper Bracket	0.22	0.22	0.31			
		Turbine Bearing	0.24	0.24	0.33			
		Lower Bracket	0.14	0.18	0.26			

Tabel. 12 Data Hasil Pengukuran Thrust Bearing (Pengganti)

NO	1	2	3	4	5	6
1	84.99	84.99	84.99	84.99	84.99	84.99
2	84.99	84.99	84.99	84.99	84.99	84.99
3	84.99	84.99	84.99	84.99	84.99	84.99
4	84.99	84.99	84.99	84.99	84.99	84.99
5	84.99	84.99	84.99	84.99	84.99	84.99
6	84.99	84.99	84.99	84.99	84.99	84.99
7	84.99	84.99	84.99	84.99	84.99	84.99
8	84.99	84.99	84.99	84.99	84.99	84.99
9	84.99	84.99	84.99	84.99	84.99	84.99
10	84.99	84.99	84.99	84.99	84.99	84.99

Tabel. 13 Data hasil pengukuran Thrust Bearing (Existing)

NO	1	2	3	4	5	6
1	84.88	84.90	84.90	84.88	84.87	84.87
2	84.95	84.91	84.90	84.89	84.90	84.90
3	84.90	84.94	84.93	84.89	84.89	84.88
4	84.88	84.92	84.93	84.94	84.90	84.90
5	84.88	84.96	84.99	84.90	84.90	84.91
6	84.90	84.98	84.94	84.90	84.91	84.90
7	84.90	84.90	84.90	84.90	84.90	84.90
8	84.90	84.95	84.96	84.96	84.99	84.94
9	84.90	84.90	84.90	84.90	84.90	84.90
10	84.90	84.90	84.90	84.90	84.90	84.90

Tabel. 14 Data Rata-rata Temperatur Bearing.

Waktu	Upper Guide Bearing (°C)	Lower Guide Bearing (°C)	Turbine Bearing (°C)
00.00	0	0	0
02.00	47	53	77
04.00	47	53	78
06.00	47	53	77
08.00	47	53	77
10.00	47	53	77
12.00	47	53	77
14.00	47	53	77
16.00	47	53	77
18.00	47	53	75
20.00	47	53	75
22.00	0	0	0
24.00	0	0	0

Tabel. 15 Data Rata Rata Debit Aliran Air Pendingin Unit 2 PLTA Mantinjau

Waktu	UPPER & THRUST BEARING (l/m)	LOWER BEARING (l/m)	TURBIN BEARING (l/m)
00.00	246	86	121
02.00	244	85	122
04.00	244	86	121
06.00	244	84	122
08.00	245	85	121
10.00	243	86	123
12.00	243	86	123
14.00	246	85	122
16.00	244	86	124
18.00	248	86	124
20.00	244	84	123
22.00	244	84	121
24.00	245	85	122

Tabel. 17 Data Hasil Pengujian Sampel Oli Unit 2 PLTA Mantinjau

Teknologi Tribologi	Titik Pengukuran	Alarm	Warning	Hasil Pengukuran		
				April	Mei	Jun
Upper Guide Bearing Lubricating Oil	ISO = 4	22	22	17	22	19
	ISO = 6	20	20	15	20	17
	ISO > 14	19	21	9	17	11
	PPM Water	250	200	0	0	0
	Visc 40c	±10%	±20%	86,2	89,8	89
	Visc 100c	±20%	±20%	8,5	7,8	8,3
	Visc Idx	<100	<50	102,63	104,25	102,58
Lower Guide Bearing Lubricating Oil	TAN	< 1	< 2	0,02	0	0
	IR Oxid	< 5	< 10	0	0	0
	ISO > 4	22	22	18	19	17
	ISO = 6	20	20	17	17	15
	ISO > 14	19	21	11	11	9
	PPM Water	250	200	0	0	0
	Visc 40c	±10%	±20%	8,2	8,2	8,2
Turbine Guide Bearing Lubricating Oil	Visc 100c	±20%	±20%	8,1	8,6	8,5
	Visc Idx	<100	<50	101,9	102,94	102,58
	TAN	< 1	< 2	0	0	0
	IR Oxid	< 5	< 10	0	0	0
	ISO > 4	22	22	18	21	20
	ISO = 6	20	20	16	18	16
	ISO > 14	19	21	9	12	16

Tabel 18 Data Alignment Unit 2 PLTA Maninjau

Posisi	Simpangan (1/100 mm)		
	I	II	III
Upper Guide Bearing	0	1	1
Lower Guide Bearing	3	3	3
Turbin Guide Bearing	3	0	3

Standar penyimpangan max. : 0,02 mm (Radial)
-0,03 (Axial) titik 90°

PT. PLN (Persero)PembangkitanSumbagsel Sektor Pengendalian Pembangkitan Bukittinggi Unit PLTA Maninjau				
PEMELIHARAAN PERIODIK MAJOR OVERHAUL T/G UNIT 2				
Mnj/form/12.19				
CALIBRASI DIAL TEMPERATUR				
TURBIN GUIDE BEARING				
Penunjukan temperature glass (°C)	Penunjukan Panel turbin (C)		Error (%) Setelah di setting	Keterangan
	sebelum di setting	setelah di setting		
30	20	30	0	65 ° C Alarm
40	30	40	0	75 ° C Trip
50	40	50	0	
60	50	60	0	3.38 DW-1
70	60	70	0	3.38 DW-2
80	70	80	0	

Skala Alat Ukur 0° - 100 ° C

Gambar 8 Pengukuran Kalibrasi Temperature Gauge Unit 2 PLTA Maninjau

Tabel 19 Data Rata Rata Temperature Turbine Bearing Unit 2 PLTA Maninjau

Hari	Pengambilan Data							Rata-rata (°C)
	1	2	3	4	5	6	7	
Rata-rata Suhu (°C)	79	79,25	79,25	81,5	80,6	78	78	79,57
Batas Alarm (°C)	65	65	65	65	65	65	65	65
Batas Trip (°C)	70	70	70	70	70	70	70	70

Tabel 20 Data Rata Rata Temperature Turbine Bearing Setelah Major Overhaul

Hari	Pengambilan Data							Rata-rata (°C)
	1	2	3	4	5	6	7	
Rata-rata Suhu (°C)	65	65	65	64,3	66	66	66	65,33
Batas Alarm (°C)	65	65	65	65	65	65	65	65
Batas Trip (°C)	70	70	70	70	70	70	70	70

Jika kita bandingkan data pada tabel 19 dan 20 terdapat selisih kenaikan suhu sebesar = 79,37 °C – 65,33 °C = 14,04 °C.

Perhitungan Panas yang Timbul Akibat Gesekan *Journal Bearing*

Berdasarkan Laporan *Major Overhaul* PLN 2020, diperoleh beberapa Data dibawah ini:

Diketahui:

- Diameter poros (Dp) : 560 mm
- Clearance (c) : 0,25 mm
- Diameter *journal bearing* (d) : Dp + Clearance
: 560 mm + 0,25 mm
: 560,25 mm
- Viskositas Oli (Z) : 55,8 Cst
: 55,8 Cst x 0,001 kg/m-s

: 0,0558 Kg/m-s

Tinggi jurnal bearing (L) : 225 mm

Gaya Radial max (F) : 56kN = 56000 N

Putaran poros (n) : 550 Rpm

Faktor Koreksi (k) : 0,002

- Besar tekanan *journal bearing*

$$P = \frac{F}{L \times d} = \frac{56000 \text{ N}}{225 \text{ mm} \times 560 \text{ mm}} = 0,44 \text{ N/mm}^2$$

- Besar koefisien gesek *journal bearing*

$$\mu = \frac{33}{10^3} \left[\frac{Z \times n}{p} \right] \left[\frac{d}{c} \right] + k$$

$$= 1,00845$$

- Panas yang dihasilkan

$$H_G = \mu \times F \times v$$

$$= 993,02 \text{ kW}$$

Setelah dilakukan perhitungan maka didapatkan nilai 993,02 kW, dan dibandingkan dengan Standar (Toshiba, 1983) *Hydro* pembangkit PLTA Maninjau yaitu 995,02 kW Masih di bawah batas daripada standar mesin pembangkit

Perhitungan Efektifitas Sistem Pendingin

- Laju Aliran Massa (Mc)

Laju aliran massa dapat dihitung menggunakan persamaan berikut (Wardianto, 2020):

$$Mc_1 \text{ sesudah Major Overhaul 2020} = Q_{c_1} \times \rho \text{ air}$$

$$= 2,1136 \text{ Kg/s}$$

$$Mc_2 \text{ saat pengujian (Juli, 2022)} = Q_{c_2} \times \rho \text{ air}$$

$$= 2.0342 \text{ Kg/s}$$

$$M_h = Q_{c_2} \times \rho \text{ air}$$

$$= 1,88 \text{ Kg/s}$$

- Efektifitas Sistem Pendingin

Efektifitas sistem pendingin dapat dihitung menggunakan persamaan berikut (Wardianto, 2020) :

$$\varepsilon = \frac{q_{act}}{q_{max}} = \frac{mcp_1 h (T_{h,in} - T_{h,out})}{(mcp)_{min} (T_{h,in} - T_{c,in})}$$

$$\varepsilon = \frac{q_{act}}{q_{max}} = \frac{mcp_1 c (T_{c,out} - T_{c,in})}{(mcp)_{min} (T_{h,in} - T_{h,out})}$$

- Efektifitas sesudah major overhaul 2020:

Cc = Efisiensi panas air

Ch = Efisiensi panas oli

$$Cc = Mc_1 \times Cpc$$

$$= 9,046 \text{ kW/}^\circ\text{C}$$

$$Ch = M_h \times Cph$$

$$= 3,929 \text{ kW/}^\circ\text{C}$$

Karena Ch < Cc maka, Ch = Cmin (Widianto, 2020)

Diketahui (PLN, 2020):

$$q_{max} = Cmin (Thi - Tci)$$

$$= 3,929 \text{ kW/}^\circ\text{C} \times (52^\circ\text{C} - 26^\circ\text{C})$$

$$= 102,154 \text{ kW}$$

$$Efisiensi = \frac{Cc (Tco - Tci)}{Cmin (Thi - Tho)} \times 100\%$$

$$= \frac{9,046 (30 - 26)}{3,929 (50)} \times 100\%$$

$$= 18,41 \%$$

- Efektifitas saat pengujian (Juli 2022):

Cc = Efisiensi panas air

Ch = Efisiensi panas oli

$$Cc = Mc_2 \times Cpc$$

$$= 8,502 \text{ kW/}^\circ\text{C}$$

$$Ch = M_h \times Cph$$

$$= 3,929 \text{ kW/}^\circ\text{C}$$

Karena Ch < Cc maka, Ch = Cmin (Widianto, 2020)

Diketahui (PLN, 2020):

$$q_{max} = Cmin (Thi - Tci)$$

$$\begin{aligned}
 &= 102,154 \text{ kW} \\
 \text{Efisiensi} &= \frac{C_c(T_{co}-T_{ci})}{C_{min}(T_{hi}-T_{ho})} \times 100\% \\
 &= 1,15 \%
 \end{aligned}$$

- Kesimpulan perhitungan efektifitas sistem pendingin
Dari hasil perhitungan, diperoleh efektifitas setelah major overhaul 2020 sebesar 18,41%, sedangkan pada saat pengujian pada bulan juli 2022 sebesar 1,15%. Maka didapatkan penurunan efektifitas sistem pendingin.

Pengujian Material Poros

Poros pada turbin berfungsi untuk memindahkan daya dari putaran turbin. Hasil pengujian material poros adalah sebagai berikut:

Tabel 1 Kandungan Material

Element	Jumlah (%)
Si	0,16
Cu	3,21
Sn	87,49
Pb	0,80

Pada tabel diatas tercatat komposisi material dari poros turbin. Adapun komposisi materialnya didominasi oleh Sn (Timbal) sebesar 87,49 %. Sn biasanya digunakan untuk melapisi logam lain agar terhindar dari korosi. Adapun penggunaan paduan ini disebabkan karena lingkungan kerja turbin yang berada pada bendungan, dalam hal ini PLTA.

Perhitungan Umur Bantalan

Untuk menghitung umur bantalan, maka harus dicari terlebih dahulu faktor percepatan (f_n) menggunakan persamaan berikut (Sularso, 2004): $f_n = \left(\frac{33,3}{n}\right)^{\frac{1}{3}}$

Diketahui $n = 550 \text{ rpm}$

Maka: $f_n = \left(\frac{33,3}{550 \text{ rpm}}\right)^{\frac{1}{3}} = 0,40$

Selanjutnya, dapat dihitung faktor umur (f_h) dengan menggunakan persamaan berikut (Sularso, 2004):

$$f_h = f_n \left(\frac{C}{P}\right)$$

Diketahui:

C (*Dynamic Load Rating*) : 663 kN (skf.com)

P (Gaya tekan) : 0,44 N/mm²

Maka:

$$f_h = 0,4 \left(\frac{663.000}{0,44}\right) = 602.727,272$$

Terakhir, umur nominal bantalan (L_h) dapat dihitung menggunakan persamaan berikut (Sularso, 2004):

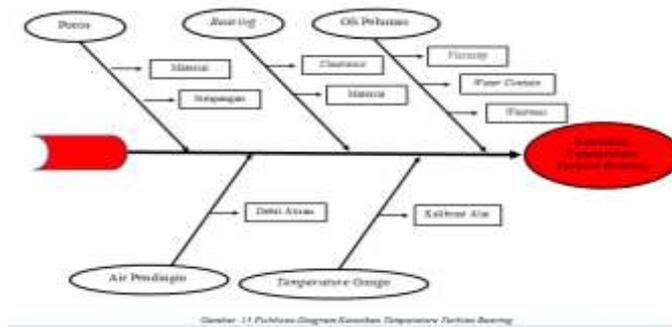
$$L_h = 500(f_h^3)$$

Maka: $L_h = 500(602.727,272^3) = 1.09479431 \times 10^{20} \text{ Jam}$

Jadi, perkiraan umur bantalan adalah sebesar $1.09479431 \times 10^{20} \text{ Jam}$. Selama ini khususnya PLTA Maninjau menggunakan standar penggantian *bearing* yaitu 40.000 Jam (SP PLN)

Analisis Faktor Penyebab Masalah

Dalam melakukan Identifikasi Masalah menggunakan metode *Fish Bone Diagram* berdasarkan Analisis Faktor Penyebab Masalah yang telah dilakukan pada Gambar 4.13 adalah metode yang digunakan untuk identifikasi akar masalah dengan menggunakan *Fish Bone Diagram* dan di jabarkan pada tabel 1 lampiran.



Adapun kondisi yang terjadi ketika dilakukannya penelitian ini adalah kenaikan temperature turbine guide bearing secara ekstrim berkisar antara 77 – 78⁰ C, data dapat dilihat pada Tabel 14, jika dibandingkan dengan data sesudah major overhaul pada tabel 2 tentu saja terdapat perbedaan yang sangat signifikan. Berdasarkan observasi yang penulis lakukan di Lokasi penelitian, ditemukan bahwa *Turbine guide bearing* yang digunakan di Unit 2 PLTA Maninjau digunakan sebagai penyangga radial yang berjenis *Journal Bearing*. Setelah melakukan perumusan masalah dengan menggunakan metode *Failure Mode and Effects Analysis* dan *Fish Bone* Diagram terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi masalah kenaikan temperature turbin bearing untuk mengkerucutkan beberapa faktor tersebut dilakukan analisis hasil maka dapat di tarik kesimpulan bahwa penyebab utama masalah kenaikan temperature turbin bearing adalah *misalignment* pada poros unit 2 PLTA Maninjau. Dengan diketahuinya akar masalah penyebab kenaikan temperature turbin bearing maka akan timbul solusi untuk pemeliharaan periodik unit 2 PLTA Maninjau yaitu :

4. CONCLUSION

Kesimpulan yang diperoleh terdapat beberapa hal, yaitu :

1. Setelah melakukan *Root Cause Analisis* menggunakan metoda *Fish Bone* Diagram maka ditemukan akar masalah yang menyebabkan kenaikan temperature turbine bearing unit 2 PLTA Maninjau yaitu terdapat *Misalignment* yang disebabkan oleh *Clearance bearing* yang kecil.
2. Terdapat beberapa faktor penyebab kenaikan *Turbine Bearing* unit 2 PLTA Maninjau Yaitu:
 - Poros yaitu terdapat simpangan sebesar 0.3 mm.
 - Bearing yaitu *Clearance bearing* kecil yaitu 0.2 mm yang seharusnya 0.4 mm sesuai *design value*.
 - Air pendingin yaitu mengalami penurunan efektifitas dari 18,41% menjadi 1,15%.
 - Oli yaitu mengalami penurunan viskositas dari 100 Cst menjadi 60 Cst.
 - *Temperature Gauge* dalam keadaan normal.
3. Beberapa dampak yang diakibatkan oleh kenaikan temperature turbine bearing yaitu :
 - mengurangi umur bearing
 - menurunkan efektifitas nilai pendingin
 - menurunkan kinerja oli sebagai pelumas
 - terdapat material asing akibat gesekan antara bearing dengan poros
 - terjadinya *misalignment* pada poros atau toleransi penyimpangan alignment dengan nilai tidak sesuai standar akan berdampak pada gesekan antar permukaan yang menjadi pemicu utama besarnya transfer energi panas dari shaft generator ke bantalan.
4. Melakukan pemeliharaan periodik unit 2 PLTA Maninjau dengan mengacu pada hasil pembahasan yang telah dilakukan pada skripsi ini.
 - Poros melakukan *Major Overhaul*.
 - Bearing *Clearance bearing* melakukan *Major Overhaul*.
 - Air pendingin melakukan *Preventive Maintenance*.
 - Oli mengalami melakukan *Predictive Maintenance* (Pengujian Oli Pelumas) dan *Preventive Maintenance* (treatment Oli Pelumas).

Saran

Melakukan pemeliharaan periodik unit 2 PLTA Maninjau dengan mengacu pada hasil pembahasan yang telah dilakukan pada skripsi ini.

- Poros melakukan *Major Overhaul*.
- Bearing *Clearance bearing* melakukan *Major Overhaul*.
- Air pendingin melakukan *Preventive Maintenance*.
- Oli mengalami melakukan *Predictive Maintenance* (Pengujian Oli Pelumas) dan *Preventive Maintenance* (treatment Oli Pelumas).

5. REFERENCES

Aprianda, J. . (2021). Analisa Kebocoran Dan Pemeliharaan Pendingin Oli Bantalan Dorong Unit 2 PT PLN (Persero) UI PLTA Musi Sektor Bengkulu (Sbkl). *Jurnal Teknik Mesin*, 7(2), 51–62.

- Febrina, A., Siahaan, J.C., Siahaan, S. (2022). Analisis Sistem Pendingin Bearing Turbin Francis Horizontal Unit 1 Dengan Daya 6,7 Mw Dan Putaran 750 Rpm Di PLTA Pakkat PT. Energi Sakti Sentosa. SINERGI POLMED Jurnal Ilmiah Teknik Mesin; <https://doi.org/10.51510/sinergipolmed.v3i1.699>.
- Festo Didactic Ltée/Ltd. 2018.) "Industrial Maintenance Shaft Alignment and Couplings". Quebec, Canada
- Mafrudin, Irawan, 2020, "*Turbin Impuls*", Laduny, Lampung.
- PT PLN Persero, 2009 "Panduan Tata Kelola dan Risiko Bidang Pembangkitan" Jakarta.
- Rianta, Maesha, 2021, "*Mengenal Pembangkit Listrik Tenaga Air*", Reasuransi Indonesia Utama, Jakarta.
- Sianturi, T. (2021). Analisa Pipa Heat Exchanger (Cooling Tube) Bervariasi Pada Turbine Guide Bearing Pembangkit Listrik Tenaga Air Siguragura. SPROCKET JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING, 2(2), 49-62.
- Sugiyono, Metode Penelitian Kuantitatif Kualitatif dan R&D (Bandung : Alfabeta,2012)
- Sularso, Ir. M.S., M.E., 1997. "Dasar Perancangan dan Pemilihan Elemen Mesin". Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Veron, Mohammad., Antono, Vendy., (2021) *Penyebab Kerusakan Thrust Bearing Generator Dan Pencegahannya Pada Unit 4 PLTA Maninjau*. Institut Teknologi PLN
- Wardianto, A. (2017) Analisis Kenaikan Temperatur Oli Pelumas Pada Bantalan Penyangga Bawah (Lower Guide Bearing) Di Unit 4 PLTA Singkarak. Menara Ilmu : Jurnal Penelitian dan Kajian Ilmiah.