

TUGAS AKHIR

EVALUASI PERBAIKAN BEARING PADA TURBIN 4MW UNTUK KEANDALAN OPERASIONAL

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Mesin Pada Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Disusun Oleh:

RIZKY IRAWAN
2207230057



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2026**

HALAMAN PENGESAHAN

Laporan penelitian Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Rizky Irawan
NPM : 2207230057
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Tugas Akhir : Evaluasi Perbaikan Bearing Pada Turbin 4MW Untuk Keandalan Operasional
Bidang ilmu : Konversi Manufaktur

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 03 Agustus 2026

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Penguji I



Dr. Sudirman Lubis, S.T., M.T.

Dosen Peguji II



Ahmad Marabdi Siregar, S.T., M.T.

Dosen Penguji III



Chandra A Siregar, S.T., M.T

Program Studi Teknik
Mesin Ketua



Chandra A Siregar, S.T., M.T

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN PROPOSAL TUGAS AKHIR

Saya yang bertandatangan dibawah ini :

Nama Lengkap : Rizky Irawan
Tempat/Tanggal Lahir : Medan, 27 Mei 2004
NPM : 2207230057
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Mesin

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa Tugas Akhir saya yang berjudul,

"Evaluasi Perbaikan Bearing Pada Turbin 4MW Untuk Keandalan Operasional"

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinal dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan kesarjaan saya.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 03 Agustus 2026

Saya, yang menyatakan



Rizky Irawan

ABSTRAK

Turbin uap 4 MW merupakan peralatan utama pada sistem pembangkit tenaga yang berfungsi mengubah energi termal uap menjadi energi mekanik untuk menggerakkan generator. Keandalan operasional turbin sangat dipengaruhi oleh kondisi bearing, karena kerusakan komponen ini dapat menyebabkan peningkatan getaran, kenaikan temperatur, penurunan tekanan sistem pelumasan, hingga penghentian operasi yang berdampak pada produktivitas dan biaya pemeliharaan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kondisi bearing sebelum perbaikan, mengevaluasi proses perbaikan yang diterapkan, serta menilai efektivitasnya terhadap peningkatan keandalan operasional turbin uap 4 MW. Metode penelitian menggunakan pendekatan deskriptif observasional melalui observasi langsung, inspeksi visual, pengukuran clearance menggunakan dial indicator dan feeler gauge, serta pengukuran parameter operasi berupa getaran, temperatur bearing, temperatur oli, tekanan oli, dan laju aliran oli sebelum dan sesudah perbaikan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sebelum perbaikan, journal bearing mengalami keausan, scoring, perubahan warna akibat temperatur tinggi, dan peningkatan clearance yang menyebabkan getaran horizontal mencapai 6,8 mm/s, temperatur bearing 82°C, tekanan oli 1,4 bar, serta laju aliran oli 48 L/menit. Setelah dilakukan penggantian journal bearing, penggantian oli dan oil filter, flushing sistem pelumasan, serta alignment rotor, nilai getaran menurun menjadi 2,3 mm/s, temperatur bearing menjadi 64°C, tekanan oli meningkat menjadi 2,1 bar, dan laju aliran oli menjadi 61 L/menit. Hasil tersebut menunjukkan bahwa perbaikan bearing efektif meningkatkan kualitas sistem pelumasan, menurunkan getaran dan temperatur operasi, serta mengembalikan kestabilan putaran rotor sehingga keandalan operasional turbin meningkat, downtime berkurang, dan keberlangsungan operasi pembangkit menjadi lebih andal dan efisien.

Kata Kunci: Turbin Uap 4 MW, Bearing, Sistem Pelumasan, Getaran, Keandalan Operasional.

ABSTRACT

A 4 MW steam turbine is one of the main components in a power generation system that functions to convert the thermal energy of steam into mechanical energy to drive a generator. The operational reliability of the turbine is highly influenced by the condition of its bearings, as bearing damage can lead to increased vibration, higher operating temperatures, reduced lubrication system pressure, and unplanned shutdowns that negatively affect productivity and maintenance costs. This study aims to analyze the bearing condition before repair, evaluate the repair process applied, and assess its effectiveness in improving the operational reliability of a 4 MW steam turbine. The research employed a descriptive observational method through direct observation, visual inspection, clearance measurements using a dial indicator and feeler gauge, and operational parameter measurements including vibration, bearing temperature, lubricating oil temperature, oil pressure, and oil flow rate before and after the repair process. The results showed that, prior to repair, the journal bearing exhibited wear, scoring, discoloration caused by high temperatures, and increased clearance, resulting in a horizontal vibration of 6.8 mm/s, a bearing temperature of 82°C, an oil pressure of 1.4 bar, and an oil flow rate of 48 L/min. After replacing the journal bearing, changing the lubricating oil and oil filter, flushing the lubrication system, and performing rotor alignment, the horizontal vibration decreased to 2.3 mm/s, the bearing temperature dropped to 64°C, the oil pressure increased to 2.1 bar, and the oil flow rate increased to 61 L/min. These findings indicate that the bearing repair effectively improved the lubrication system performance, reduced vibration and operating temperature, restored rotor rotational stability, enhanced the operational reliability of the steam turbine, minimized downtime, and supported more reliable and efficient power plant operation.

Keywords: 4 MW Steam Turbine, Bearing, Lubrication System, Vibration, Operational Reliability.

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum warahmatullahi wabarakatuh

Dengan nama allah yang maha pengasih lagi maha penyayang segala puji dan Syukur penulis mengucapkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan proposal penelitian ini dengan judul “Evaluasi Perbaikan Bearing Pada Turbin 4MW Untuk Keandalan Operasional.”

Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan Proposal Tugas Akhir ini, untuk itu penulis menghaturkan rasa terimakasih yang tulus dan dalam kepada:

1. Chandra A Siregar, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing sekaligus Ketua Program Studi Teknik Mesin yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Ahmad Marabdi Siregar, S.T., M.T. selaku Sekretaris Prodi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Bapak Ir.Ade Faisal,ST.,M.Sc.,Ph.D selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Bapak Ade Faisal, S.T., M.Sc., Ph.D selaku Wakil Dekan I Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Bapak Affandi, S.T., M.T selaku Wakil Dekan III Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Kedua orang tua tercinta penulis yaitu Ayahanda Irawan dan Ibunda Winda Asmara yang telah mengasuh, mendidik, serta senantiasa memberikan kasih sayang, do’a yang tulus dan dukungan moril maupun material sehingga penulis dapat menyelesaikan studi di Prodi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
7. Rekan – rekan seperjuangan, Ezra Tri Wira Pranata, M.Rifkianda Putra, Shandy Pratama Butar-butur, Febri Ronaldo.
8. Rekan – rekan seperjuangan kelas A1 Malam Stambuk 2022, serta rekan – rekan bidang keahlian konversi manufaktur yang telah banyak memberi saran dan dukungan kepada penulis.

Proposal Tugas Akhir ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis dengan senang hati dan penuh lapang dada menerima kritik dan masukan yang konstruktif untuk menjadi bahan pembelajaran berkesinambungan penulis di masa depan. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu keteknik-mesinan.

Medan, 3 Agustus 2026

Penulis

A handwritten signature in black ink, consisting of stylized, overlapping letters that appear to be 'R' and 'I' followed by a long, sweeping horizontal stroke.

Rizky Irawan

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN PROPOSAL TUGAS AKHIR	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Ruang Lingkup	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Pengertian Turbin Uap	5
2.2 Prinsip Kerja Turbin Uap	6
2.3 Klasifikasi Turbin Uap	7
2.4 Komponen Utama Turbin Uap	8
2.5 Sistem Pelumasan (Lube Oil System) Turbin Uap	16
2.5.1 Fungsi Sistem Pelumasan	16
2.5.2 Prinsip Kerja Sistem Pelumasan	17
2.5.3 Permasalahan Umum Pada Sistem Pelumasan	18
2.5.4 Peran Sistem Pelumasan Terhadap Keandalan Turbin Uap 4 MW	18
2.6 Keandalan Operasional Turbin Uap	19
2.6.1 Parameter Keandalan Operasional	19
2.6.2 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Keandalan Turbin Uap	20
2.6.3 Indikator Kegagalan Operasional pada Turbin Uap	21
2.6.4 Peran Perbaikan Bearing Terhadap Keandalan Operasional Turbin 4MW	21
2.6.5 Standar Dan Pedoman Keandalan Turbin Uap	22
BAB 3 METODE PENELITIAN	23
3.1 Tempat Dan Waktu Penelitian	23
3.1.1 Tempat Penelitian	23
3.1.2 Waktu Penelitian	23
3.2 Bahan Dan Alat	23
3.2.1 Bahan Penelitian	23
3.2.2 Alat Penelitian	25
3.3 Bagan Alir Penelitian	29
3.4 Rancangan Alat Penelitian	30
3.5 Prosedur Penelitian	30
3.6 Variabel Penelitian	31
3.7 Pengumpulan Data	31

3.8 Pengolahan Data	32
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	33
4.1 Kondisi bearing sebelum dilakukan perbaikan	33
4.1.1 Pemeriksaan Visual Bearing	33
4.1.2 Pemeriksaan Sistem Pelumasan	34
4.1.3 Hasil Pengukuran sebelum perbaikan	35
4.2 Analisa proses perbaikan bearing yang diterapkan pada turbin uap 4 MW	36
4.2.1 Pembongkaran Bearing	36
4.2.2 Pemeriksaan Clearance Bearing	37
4.2.3 Penggantian Bearing	38
4.2.4 Perbaikan Sistem Pelumasan	38
4.3.5 Alignment Rotor	39
4.2.6 Commissioning	39
4.3 Mengevaluasi perubahan nilai getaran dan temperatur setelah bearing diperbaiki	40
4.3.1 Analisis Getaran (Vibration Analysis)	42
4.3.2 Analisis Temperatur Bearing	42
4.3.3 Analisis Tekanan Oli	43
4.3.4 Analisis Hubungan Antarparameter	44
4.3.5 Pengaruh Perbaikan terhadap Keandalan Operasional Turbin	44
4.4 Menilai efektivitas perbaikan bearing terhadap peningkatan keandalan operasi turbin.	45
4.4.1 Analisis Keandalan Berdasarkan Parameter Operasi	46
4.5 Evaluasi Keberhasilan Perbaikan Bearing terhadap keandalan operasional	48
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	53
5.1 KESIMPULAN	54
5.2 SARAN	
DAFTAR PUSTAKA	56
Lampiran 1. SK Pembimbing	
Lampiran 2. Lembar Asistensi Tugas Akhir	
Lampiran 3 Berita Acara Seminar Hasil Penelitian	
Lampiran 4 DAFTAR RIWAYAT HIDUP	

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Waktu Penelitian	23
Tabel 3.2 Rancangan Alat Penelitian	30
Tabel 4.1 Hasil Pemeriksaan Bearing	34
Tabel 4.2 Hasil Pengukuran Sebelum Perbaikan	35
Tabel 4.3 Hasil Pengukuran Clearance Bearing	37
Tabel 4.4 Hasil Pengukuran Setelah Perbaikan	40
Tabel 4.6 Data Vibrasi Turbin	42
Tabel 4.8 Tekanan Oli	43
Tabel 4.9 Perbandingan Hasil Seluruh Parameter	44

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Rotor Wheel (PT. Adibrata Unggul Jaya)	9
Gambar 2.2 Casing (PT. Adibrata Unggul Jaya)	9
Gambar 2.3 Nozzel (PT. Adibrata Unggul Jaya)	10
Gambar 2.4 Labhiryn (PT. Adibrata Unggul Jaya)	10
Gambar 2.5 Bearing (PT. Adibrata Unggul Jaya)	11
Gambar 2.6 Journal Bearing (PT. Adibrata Unggul Jaya)	11
Gambar 2.7 Thrust Bearing (PT. Adibrata Unggul Jaya)	12
Gambar 2.8 Kopling (PT. Adibrata Unggul Jaya)	13
Gambar 2.9 Spindle Valve (PT. Adibrata Unggul Jaya)	13
Gambar 2.10 Electrical Oil Pump (PT. Adibrata Unggul Jaya)	14
Gambar 2.11 Nozzle Ring (PT. Adibrata Unggul Jaya)	14
Gambar 2.12 Guide Ring (PT. Adibrata Unggul Jaya)	15
Gambar 2.13 Buffle Oil (PT. Adibrata Unggul Jaya)	15
Gambar 2.14 Lube Oil System (PT. Adibrata Unggul Jaya)	16
Gambar 3.1 Journal Bearing (PT. Adibrata Unggul Jaya)	24
Gambar 3.2 Lubricating Oil (PT. Adibrata Unggul Jaya)	24
Gambar 3.3 Kertas Amplas (PT. Adibrata Unggul Jaya)	24
Gambar 3.4 Pompa Oli (PT. Adibrata Unggul Jaya)	25
Gambar 3.5 Jangka Sorong (PT. Adibrata Unggul Jaya)	25
Gambar 3.6 Dial (PT. Adibrata Unggul Jaya)	26
Gambar 3.7 Feller Gauge (PT. Adibrata Unggul Jaya)	26
Gambar 3.8 Vibration Analyzer (PT. Adibrata Unggul Jaya)	27
Gambar 3.9 Flow Meter Oli (PT. Adibrata Unggul Jaya)	27
Gambar 3.10 Kunci-kunci (PT. Adibrata Unggul Jaya)	28
Gambar 3.11 Bagan Alir Penelitian	29
Gambar 4.1 Journal Bearing	33
Gambar 4.2 Oil Filter	35
Gambar 4.3 Proses Pembongkaran Journal Bearing	37
Gambar 4.4 Pengukuran Clearance Pada Bearing	38
Gambar 4.5 Pemasangan Bearing Baru	38
Gambar 4.6 sedang Mengaligment Rotor	39
Gambar 4.7 Comisioning Sebelum Tes Run Turbin	40
Gambar 4.8 Nilai Vibrasi Sebelum Perbaikan	47
Gambar 4.9 Nilai Vibrasi Sestelah Perbaikan	48
Gambar 4.10 Temperatur Bearing Sebelum Perbaikan	48
Gambar 4.11 Temperatur Bearing Setelah Perbaikan Melalui Panel	49
Gambar 4.12 Tekanan Oli Sebelum Perbaikan Melalui Panel	49
Gambar 4.13 Tekanan Oli Sesudah Perbaikan Melalui Panel	50
Gambar 4.14 Tekanan Oli Setelah Perbaikan Melalui Panel	50

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) merupakan salah satu sistem pembangkit yang paling banyak digunakan di dunia, termasuk di Indonesia, karena mampu menghasilkan energi listrik dalam kapasitas besar secara kontinu. Turbin uap menjadi komponen utama dalam sistem ini, berfungsi mengubah energi termal dari uap bertekanan tinggi menjadi energi mekanik rotasi untuk menggerakkan generator listrik. Salah satu jenis yang umum digunakan di sektor industri dan pembangkit menengah adalah turbin uap dengan kapasitas 4 MW.

Turbin uap 4 MW tergolong dalam kategori medium-scale steam turbine, yang banyak digunakan pada industri seperti pabrik kelapa sawit, pabrik gula, pabrik kertas, dan pembangkit industri (captive power plant). Ukuran ini dipilih karena efisiensi termalnya cukup tinggi dan dapat dioperasikan secara stabil untuk kebutuhan beban menengah. Menurut penelitian (Saputra & Nurato, n.d.).

Dalam jurnal *SINERGI Universitas Mercubuana*, turbin uap 3,5–4 MW mampu mencapai efisiensi termal sebesar 72–78%, tergantung pada kondisi tekanan uap masuk, suhu, dan performa komponen mekanis seperti *bearing* dan *seal system* (Saputra & Nurato, n.d.).

Dalam operasionalnya, turbin uap 4 MW membutuhkan tingkat keandalan tinggi karena bekerja pada putaran 6.000–9.000 rpm dengan tekanan uap antara 30–60 bar dan suhu sekitar 400 °C. Kondisi operasi ekstrem tersebut menyebabkan komponen seperti rotor, sudu, dan bearing mengalami beban dinamis yang besar. Menurut (Pennacchi, 2022) dalam buku *Advanced Technologies for Steam Turbine Bearings* (Springer), komponen bearing adalah salah satu penyebab utama gangguan pada turbin, dengan persentase kegagalan mencapai 40–45% dari seluruh kerusakan mekanis yang terjadi.

Pada turbin uap berkapasitas 4 MW, komponen internal seperti rotor, sudu, dan bearing (bantalan) memiliki peran vital dalam menjaga stabilitas putaran dan efisiensi energi.

Bearing atau bantalan berfungsi sebagai penopang poros turbin agar dapat berputar secara halus dan stabil dengan gesekan seminimal mungkin. Dalam sistem turbin 4 MW, putaran rotor dapat mencapai 6.000–9.000 rpm, dengan beban dinamis yang sangat tinggi akibat tekanan dan suhu operasi uap yang bisa mencapai 400–500 °C.

Menurut penelitian (Pennacchi, 2022) dalam buku *Advanced Technologies for Steam Turbine Bearings* (Springer), sekitar 40–45% kerusakan mekanis pada turbin uap disebabkan oleh kegagalan bearing. Dalam sistem turbin uap 4 MW, jenis bearing yang umum digunakan adalah journal bearing dan thrust bearing. Journal bearing berfungsi menahan beban radial dari rotor, sedangkan thrust bearing menahan beban aksial akibat dorongan uap ke arah longitudinal poros. Kinerja kedua jenis bearing ini sangat dipengaruhi oleh kualitas pelumasan dan kesesuaian celah kerja (*clearance*).

Menurut (Saputra & Nurato, n.d.) dalam *Jurnal SINERGI Universitas Mercu Buana*, peningkatan gesekan internal akibat kerusakan pada bearing dapat menurunkan efisiensi turbin hingga 6–8% dan menyebabkan getaran abnormal yang berpotensi merusak rotor.

Kegagalan bearing pada turbin uap 4 MW tidak hanya berdampak pada aspek mekanis, tetapi juga pada keandalan operasional sistem pembangkit secara keseluruhan. Gangguan pada bearing dapat menyebabkan shutdown tak terencana, kehilangan energi listrik, dan biaya perawatan yang tinggi. Oleh karena itu, evaluasi dan bearing perbaikan sistem menjadi hal yang sangat penting untuk menjaga keandalan operasional turbin serta meningkatkan efisiensi sistem konversi energi.

Dengan demikian, penelitian mengenai evaluasi perbaikan bearing pada turbin uap 4 MW sangat penting dilakukan untuk meningkatkan keandalan operasional sistem pembangkit. Melalui evaluasi terhadap kondisi getaran, temperatur, pelumasan, serta inspeksi visual, diharapkan dapat diperoleh langkah perbaikan yang efektif dalam mencegah kerusakan dini dan mendukung kontinuitas operasi turbin.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan Latar belakang yang telah dijelaskan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Apa saja jenis kerusakan bearing yang sering terjadi pada turbin uap 4MW
2. Bagaimana proses perbaikan bearing pada turbin uap 4MW
3. Apa saja factor yang mempengaruhi keandalan operasional pada turbin uap 4MW

1.3 Ruang Lingkup

Adapun Batasan masalah pada penelitian ini agar penelitian dapat terfokus pada rumusan Adalah sebagai berikut:

1. Penelitian difokuskan pada bearing turbin uap berkapasitas 4 MW, khususnya bearing yang berfungsi sebagai penopang poros (journal bearing dan/atau thrust bearing).
2. Pembahasan mencakup kondisi awal bearing sebelum perbaikan
3. Penelitian dibatasi pada proses evaluasi perbaikan bearing
4. Sistem yang dikaji terbatas pada bearing dan sistem pelumasan (lube oil system) yang berhubungan langsung dengan kinerja bearing.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini sebagai berikut:

1. Mengetahui kondisi bearing sebelum dilakukan perbaikan.
2. Menganalisis proses perbaikan bearing yang diterapkan pada turbin uap 4 MW.
3. Mengevaluasi perubahan nilai getaran dan temperatur setelah bearing diperbaiki.
4. Menilai efektivitas perbaikan bearing terhadap peningkatan keandalan operasi turbin.

1.5 Manfaat

Adapun manfaat penelitian ini sebagai berikut:

1. Membantu meningkatkan keandalan dan kontinuitas operasi turbin uap setelah dilakukan perbaikan bearing.
2. Mengurangi risiko kerusakan berulang dan downtime akibat kegagalan bearing.
3. Memberikan rekomendasi perawatan preventif untuk memperpanjang umur pakai bearing.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Turbin Uap

Turbin uap merupakan mesin konversi energi yang mengubah energi potensial dan kinetik dari uap bertekanan menjadi energi mekanik berupa putaran poros. Energi mekanik ini kemudian digunakan untuk menggerakkan generator listrik atau beban mekanik lainnya. Dalam proses konversi energi tersebut, turbin uap memanfaatkan prinsip ekspansi uap melalui sudu-sudu (*blades*), sehingga menghasilkan momentum yang memutar rotor. Teknologi turbin uap pertama kali berkembang pada akhir abad ke-19 dan hingga kini menjadi komponen utama dalam pembangkit Listrik berbasis termal (Moran et al., 1992).

Turbin uap bekerja berdasarkan hukum kekekalan energi serta dinamika fluida, di mana uap yang telah dipanaskan pada boiler melewati nozzle sehingga kecepatannya meningkat secara signifikan. Uap berkecepatan tinggi ini mengenai sudu turbin dan menghasilkan gaya dorong (*impulse*) atau gaya reaksi (*reaction*) tergantung jenis turbin yang digunakan. Dengan demikian, performa turbin sangat dipengaruhi oleh tekanan, temperatur, dan kualitas uap yang masuk ke sistem (Cengel & Boles, 2002).

Dalam praktik industri, turbin uap banyak digunakan pada pembangkit listrik tenaga uap (PLTU), pabrik minyak dan gas, pabrik pupuk, dan fasilitas industri lain yang membutuhkan suplai tenaga besar dan stabil. Efisiensi turbin uap modern dapat mencapai 35–45% pada operasi tunggal, bahkan hingga 60% pada sistem siklus gabungan (*combined cycle*). Tingginya efisiensi ini menjadikan turbin uap sebagai salah satu mesin konversi energi yang paling diandalkan dalam sektor pembangkitan energi (Okwuejunti & Kehinde, 2015). Selain sebagai penggerak utama dalam pembangkit listrik, turbin uap juga dirancang dengan standar keandalan yang tinggi mengingat mesin ini bekerja pada kondisi ekstrem, seperti tekanan hingga ratusan bar dan temperatur di atas 500°C. Oleh sebab itu, desain material, balancing rotor, serta kondisi pelumasan bearing menjadi bagian penting untuk menjaga kinerja dan keandalan turbin. Turbin uap yang tidak dirawat

dengan baik berisiko mengalami vibrasi tinggi, keausan bearing, penurunan efisiensi, hingga kegagalan operasional (Boyce, 2011).

Pada perkembangan teknologi modern, pengendalian turbin uap telah menggunakan sistem kontrol otomatis berbasis digital seperti Distributed Control System (DCS). Sistem ini berfungsi mengatur tekanan uap, putaran turbin, hingga sistem proteksi untuk mencegah kerusakan seperti overspeed, getaran berlebih, dan temperatur tinggi. Implementasi kontrol modern mampu meningkatkan stabilitas operasi, mengurangi downtime, serta memperpanjang umur komponen turbin, termasuk bearing yang menjadi fokus penting dalam penelitian ini (Vidlak & Prochazkova, 2023).

2.2 Prinsip Kerja Turbin Uap

Turbin uap merupakan mesin konversi energi yang mengubah energi termal dan tekanan uap menjadi energi mekanik berupa putaran poros. Prinsip ini bekerja berdasarkan Siklus Rankine, yaitu siklus termodinamika tertutup yang melibatkan proses pemanasan air, pembentukan uap, ekspansi uap di dalam turbin, dan kondensasi kembali menjadi air. Siklus ini merupakan dasar dari hampir seluruh pembangkit listrik tenaga uap dan sistem turbin uap industri (Cengel & Boles, 2002).

Pada sistem turbin uap 4 MW, uap bertekanan tinggi dihasilkan di boiler dan dialirkan menuju main stop valve serta control valve. Ketika control valve terbuka, uap masuk ke nozzle atau sudu tetap. Pada tahap ini terjadi konversi energi tekanan menjadi energi kinetik, di mana tekanan uap menurun dan kecepatannya meningkat (Moran et al., 1992). Uap berkecepatan tinggi tersebut kemudian diarahkan ke sudu bergerak (moving blades) yang terpasang pada rotor.

Ketika aliran uap menumbuk sudu bergerak, terjadi perubahan momentum yang menghasilkan gaya sehingga rotor berputar. Putaran rotor inilah yang menjadi energi mekanik, dan dalam pembangkit listrik akan diteruskan ke generator melalui kopling untuk menghasilkan energi Listrik (Kumar et al., 2017). Pada turbin 4 MW, putaran rotor umumnya berkisar antara 1500–3000 rpm, tergantung desain turbin impuls atau reaksi.

Setelah proses ekspansi, uap keluar dari turbin dengan tekanan yang lebih rendah. Pada sistem condensing turbine, uap tersebut diarahkan ke kondensor untuk diubah kembali menjadi air. Sedangkan pada back-pressure turbine, uap keluar dapat digunakan untuk proses industri, seperti pemanas, pengering, atau proses pabrik lain (Martelli et al., 2021). Air kondensat atau make-up water kemudian dipompa kembali ke boiler sehingga siklus dapat berlangsung terus menerus.

Prinsip kerja ini menghasilkan konversi energi yang efisien karena tidak ada komponen bolak-balik seperti pada mesin uap piston, sehingga getaran lebih rendah, keandalan tinggi, dan efisiensi termal lebih baik. Oleh sebab itu pada turbin 4 MW, performa sistem sangat dipengaruhi oleh kondisi komponen penting seperti bearing, rotor, nozzle, governor, dan sistem pelumasan (Singh et al., n.d.). Gangguan pada salah satu komponen tersebut, terutama bearing, dapat menyebabkan penurunan efisiensi, peningkatan getaran, hingga kerusakan mekanis pada poros turbin.

2.3 Klasifikasi Turbin Uap

Turbin uap diklasifikasikan berdasarkan berbagai aspek, yaitu:

1. Berdasarkan Prinsip Kerja

a. Turbin Impuls

Turbin impuls bekerja berdasarkan perubahan kecepatan uap pada nozzle sehingga menghasilkan gaya impuls pada sudu. Sudu bergerak tidak mengalami perubahan tekanan, hanya perubahan momentum. Cocok untuk daya kecil hingga menengah.

b. Turbin Reaksi

Turbin reaksi bekerja berdasarkan perubahan tekanan pada sudu tetap (stator) dan sudu gerak (rotor). Turbin jenis ini digunakan pada daya menengah hingga besar, termasuk turbin 4 MW.

2. Berdasarkan Arah Aliran

a. Flow Turbine

Aliran uap bergerak sejajar dengan poros rotor. Efisiensi tinggi dan digunakan pada turbin daya besar.

b. Radial Flow Turbine

Aliran uap bergerak menuju pusat rotor. Cocok untuk aplikasi kecil.

3. Berdasarkan Jumlah Tahap

a. Single Stage Turbine

Hanya satu tahap nozzle–rotor, digunakan pada daya rendah.

b. Multi Stage Turbine

Terdiri dari beberapa tahap, sangat umum pada turbin industri dan pembangkit.

4. Berdasarkan Tekanan Operasi

a. Back Pressure Turbine

Menghasilkan tekanan sisa untuk proses industri.

b. Condensing Turbine

Uap diekspansi hingga tekanan vakum, menghasilkan efisiensi maksimum.

Turbin uap 4 MW biasanya menggunakan multi-stage condensing axial flow reaction turbine.

2.4 Komponen Utama Turbin Uap

1. Rotor Wheel

Rotor wheel (atau *roda rotor*) adalah komponen utama pada rotor turbin uap yang berfungsi sebagaiudukan (carrier) bagi sudu-sudu gerak (*moving blades*). Rotor wheel dipasang secara terintegrasi pada poros rotor (*rotor shaft*) dan berputar bersama poros untuk mengubah energi kinetik uap menjadi energi mekanik rotasi. Pada turbin uap 4 MW, rotor wheel harus memiliki kekuatan mekanis yang sangat tinggi karena menerima beban kombinasi berupa gaya sentrifugal, gaya aksial, gaya bending, serta tekanan termal.



Gambar 2.1 Rotor Wheel (PT. Adibrata Unggul Jaya)

1. Casing

Casing atau rumah turbin uap adalah struktur utama yang membungkus seluruh komponen internal turbin seperti sudu tetap (*stationary blades*), rotor, bearing, dan saluran uap. Casing berfungsi sebagai *pressure vessel* yang menahan tekanan uap tinggi serta menjaga agar aliran uap dapat diarahkan dengan presisi ke sudu-sudu turbin. Pada turbin uap 4 MW, casing umumnya terdiri dari dua bagian: upper half casing (bagian atas) dan lower half casing (bagian bawah) yang disatukan dengan baut dan flange.

Casing harus memiliki kekuatan mekanik dan stabilitas termal tinggi karena beroperasi pada tekanan, temperatur, dan vibrasi yang besar. Desainnya menjadi faktor penting dalam efisiensi turbin serta keandalan operasional jangka panjang.



Gambar 2.2 Casing (PT. Adibrata Unggul Jaya)

2. Nozzle

Nozzle pada turbin uap adalah komponen stasioner (tidak bergerak) yang berfungsi untuk mengubah tekanan uap menjadi energi kinetik dengan cara mempercepat aliran uap sebelum diarahkan ke sudu gerak (*moving blades*). Nozzle terletak pada bagian stator dan biasanya dipasang pada casing sebagai rangkaian yang dikenal dengan nama nozzle ring atau nozzle diaphragm.



Gambar 2.3 Nozzle (PT. Adibrata Unggul Jaya)

3. Labhirynt

Labyrinth seal adalah jenis *non-contact seal* yang digunakan pada turbin uap untuk mencegah kebocoran uap dari area bertekanan tinggi ke area bertekanan rendah tanpa adanya kontak langsung antara komponen yang berputar (rotor) dan komponen diam (stator/casing). Labyrinth seal berbentuk serangkaian *teeth* (gigi) yang tersusun melingkar pada rotor atau stator, dengan celah yang sangat sempit di antara keduanya.



Gambar 2.4 Labhirynt (PT. Adibrata Unggul Jaya)

4. Bearing

Bearing pada turbin uap adalah komponen mekanis yang berfungsi untuk menopang poros (shaft) dan rotor, menjaga agar putaran tetap stabil, mengurangi gesekan, serta mempertahankan keselarasan rotor selama operasi. Pada turbin uap 4 MW, bearing merupakan komponen yang sangat kritis karena putaran turbin tinggi, beban aksial besar, dan potensi getaran sangat signifikan.

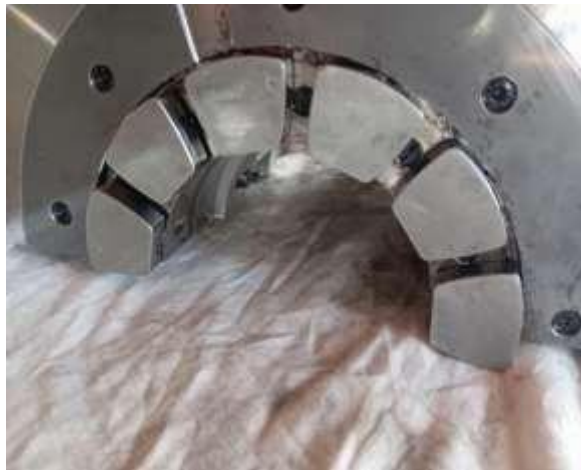


Gambar 2.5 Bearing (PT. Adibrata Unggul Jaya)

Bearing pada Turbin Uap 4 MW terbagi dalam dua jenis yaitu:

a. Journal Bearing

Menopang beban radial dan menjaga rotor tetap berada di sumbu rotasi. Biasanya berupa tilting pad journal bearing atau sleeve bearing.



Gambar 2.6 Journal Bearing (PT. Adibrata Unggul Jaya)

b. Thrust Bearing (Aksial Bearing)

Menopang gaya aksial yang dihasilkan oleh perbedaan tekanan uap di rotor. Jenis yang umum digunakan adalah Kingsbury thrust bearing atau tilting pada thrust bearing



Gambar 2.7 Thrust Bearing (PT. Adibrata Unggul Jaya)

5. Koupling

Kopling (coupling) pada turbin uap adalah komponen mekanis yang berfungsi menghubungkan poros turbin (turbine shaft) dengan poros peralatan penggerak lain, seperti generator, gearbox, atau pompa. Kopling mentransmisikan torsi dari turbin ke beban sambil menjaga keselarasan poros, meredam getaran, dan mengakomodasi sedikit ketidaksejajaran (*misalignment*).

Dalam turbin uap 4 MW, kopling merupakan komponen kritis karena kesalahan pada kopling dapat menyebabkan:

- a. getaran tinggi
- b. kerusakan bearing
- c. kerusakan rotor
- d. turbin trip otomatis

Oleh sebab itu, desain dan kondisi kopling harus dijaga agar operasi turbin tetap stabil.



Gambar 2.8 Kopling (PT. Adibrata Unggul Jaya)

6. Spindle Valve

Spindle valve merupakan komponen pengatur aliran uap yang berada di dalam sistem *steam chest* turbin uap. Komponen ini berfungsi sebagai penghubung antara aktuatur kontrol (governor valve atau control valve mechanism) dengan katup utama pengatur aliran uap. Pada dasarnya, spindle valve adalah batang kendali (*control spindle*) yang mentransmisikan gerakan buka–tutup katup uap secara presisi untuk mengatur jumlah uap yang memasuki turbin.



Gambar 2.9 Spindle Valve (PT. Adibrata Unggul Jaya)

7. Electrical Oil Pump

Electrical Oil Pump adalah pompa oli yang digerakkan oleh motor listrik dan berfungsi untuk mensirkulasikan oli pelumas (lube oil) pada sistem mekanik seperti turbin uap, generator, kompresor, atau gearbox. Pompa ini memberikan tekanan serta debit oli yang stabil untuk melumasi dan mendinginkan komponen-komponen kritis seperti:

- a. bearing (journal & thrust bearing)
- b. gear
- c. shaft & coupling
- d. seal

Pompa ini digunakan terutama ketika pompa utama (main oil pump) tidak dapat bekerja, misalnya saat kecepatan putaran masih rendah atau saat start–stop turbin.



Gambar 2.10 Electrical Oil Pump (PT. Adibrata Unggul Jaya)

8. Nozzle Ring

Nozzle ring adalah komponen penting pada turbin uap yang berfungsi mengarahkan aliran uap bertekanan tinggi dari boiler menuju sudu-sudu (blades) pada bagian rotor dengan kecepatan dan arah tertentu. Nozzle ring berbentuk cincin (annular) yang tersusun dari beberapa nozzle atau fixed blades yang dipasang secara melingkar di bagian stator. Komponen ini termasuk dalam stasioner (stationary parts) turbin.



Gambar 2.11 Nozzle Ring (PT. Adibrata Unggul Jaya)

9. Guide Ring

Guide ring adalah komponen tetap (*stationary component*) yang berfungsi sebagai pengarah aliran uap menuju sudu gerak (*moving blades*) pada turbin uap. Guide ring merupakan bagian dari *stator* dan bekerja bersama *nozzle ring* untuk mengatur arah, kecepatan, serta distribusi aliran uap secara optimal sebelum memasuki sudu turbin.



Gambar 2.12 Guide Ring (PT. Adibrata Unggul Jaya)

10. Baffle Oil

Baffle oil adalah plat pengarah aliran oli yang dipasang di dalam oil tank, bearing housing, atau jalur drain oil pada sistem pelumasan turbin uap. Tujuannya adalah mengatur arah oli, mengurangi turbulensi, meningkatkan de-aerasi, dan menjaga kualitas pelumasan. Komponen ini tidak bergerak, berbentuk sederhana, namun memiliki peran vital dalam menjaga keandalan bearing turbin uap.

Gambar 2.13 Baffle Oil (PT. Adibrata Unggul Jaya)



2.5 Sistem Pelumasan (Lube Oil System) Turbin Uap

Sistem pelumasan (lube oil system) pada turbin uap merupakan sistem vital yang berfungsi untuk memastikan seluruh komponen berputar — terutama journal bearing, thrust bearing, dan kopling — memperoleh pelumasan, pendinginan, serta perlindungan terhadap gesekan dan keausan. Kinerja turbin uap 4 MW sangat bergantung pada kestabilan sistem pelumasan karena kualitas film oli menentukan kestabilan getaran rotor, suhu bearing, dan keandalan operasional turbin secara keseluruhan.



Gambar 2.14 Lube Oil System (PT.Adibrata Unggul Jaya)

Menurut API Standard 614 (2019), sistem pelumasan harus dirancang untuk memberikan aliran oli yang bersih, bertekanan stabil, bebas udara, dan memiliki temperatur yang terkontrol, sehingga mampu menjaga performa peralatan berputar (rotating equipment) secara berkelanjutan.

2.5.1 Fungsi Sistem Pelumasan

Sistem pelumasan pada turbin uap memiliki beberapa fungsi utama, yaitu:

1. Pelumasan (Lubrication)

Oli membentuk film hidrodinamis (hydrodynamic film) di antara permukaan poros dan bearing, sehingga mencegah kontak langsung yang dapat mengakibatkan gesekan dan keausan. Film pelumas bekerja berdasarkan prinsip pressure wedge, di

mana kecepatan rotasi shaft menciptakan tekanan hidrodinamis yang menopang beban radial dan aksial.

2. Pendinginan (Cooling)

Oli menyerap panas dari bearing akibat gesekan dan beban dinamis rotor, lalu membuang panas tersebut melalui **oil cooler**. Proses ini menjaga temperatur bearing tetap berada pada batas aman (umumnya 60–80°C).

3. Pembersihan (Cleaning)

Oli membawa partikel kotoran, serpihan logam (debris), dan kontaminan lainnya menuju oil filter, sehingga mencegah terjadinya abrasi dan kerusakan permukaan bearing.

4. Peredam Getaran (Vibration Damping)

Film oli bertindak sebagai peredam dinamis untuk meredam getaran rotor, sehingga mengurangi amplitudo vibrasi pada journal bearing. Ini penting dalam menghindari fenomena seperti whirl dan whip.

5. Menjaga Stabilitas Operasional

Sistem pelumasan memastikan tekanan dan flow oli tetap konstan meski terjadi variasi beban turbin, sehingga operasi tetap stabil dan tidak terjadi trip akibat low oil pressure (Singh et al., n.d.).

2.5.2 Prinsip Kerja Sistem Pelumasan

Aliran kerja sistem pelumasan turbin uap dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Oli berada di reservoir/tank pada kondisi tenang dan bebas udara akibat adanya baffle oil.
2. Auxiliary oil pump aktif terlebih dahulu saat start-up untuk memberikan tekanan awal.
3. Oli dipompa menuju oil cooler untuk menurunkan temperatur.
4. Oli kemudian melewati oil filter untuk menghilangkan kotoran.
5. Oli bertekanan didistribusikan ke:
 - a. journal bearing
 - b. thrust bearing
 - c. governor system (jika digunakan hydraulic governor)
6. Oli membentuk film pelumas dan menyerap panas.

7. Oli kembali ke reservoir melalui return line, melewati baffle, lalu mengalami proses:
 - a. penurunan kecepatan aliran
 - b. pelepasan gelembung udara (de-aerasi)
 - c. pengendapan partikulat
8. Proses ini berulang secara kontinu selama turbin beroperasi.

2.5.3 Permasalahan Umum Pada Sistem Pelumasan

Beberapa kegagalan pada bearing turbin uap sering disebabkan oleh:

1. Oil Contamination

Kontaminasi partikel atau air menyebabkan:

- a. keausan prematur
- b. perubahan viskositas
- c. peningkatan temperatur bearing

2. Foaming

Foaming menyebabkan udara terperangkap dalam oli, sehingga film pelumas menjadi tidak stabil dan tekanan oil pump fluktuatif. Kondisi ini sering akibat desain baffle yang tidak baik.

3. Oil Starvation

Kekurangan supply oli menyebabkan bearing overheating dan kerusakan fatal.

4. Temperatur Oli Berlebihan

Oil cooler yang tersumbat atau kinerja menurun dapat meningkatkan temperatur, sehingga viskositas turun dan film pelumas melemah.

2.5.4 Peran Sistem Pelumasan terhadap Keandalan Turbin Uap 4 MW

Sistem pelumasan mempengaruhi:

1. keandalan bearing
2. getaran (vibration) rotor
3. umur pemakaian komponen
4. efisiensi energi
5. frekuensi trip dan downtime

Pada turbin 4 MW, kestabilan tekanan oli sangat penting karena beban bearing cukup besar dan putaran tinggi (3000 rpm). Evaluasi perbaikan bearing tidak dapat dipisahkan dari analisis sistem pelumasan, termasuk kondisi baffle oil, cooler, filter, dan kualitas oli (Singh et al., n.d.).

2.6 Keandalan Operasional Turbin Uap

Keandalan operasional (*operational reliability*) merupakan ukuran kemampuan suatu sistem atau peralatan untuk beroperasi secara terus-menerus tanpa mengalami kegagalan dalam periode tertentu. Pada turbin uap 4 MW, keandalan operasional menjadi aspek kritis karena turbin berfungsi sebagai peralatan utama (*critical equipment*) yang mendukung kontinuitas proses industri, pembangkit listrik, maupun sistem utilitas. Menurut (Moubray, 2015), keandalan berkaitan dengan probabilitas suatu komponen dapat melaksanakan fungsi yang diharapkan dalam kondisi operasi tertentu dan dalam rentang waktu tertentu.

Keandalan operasional turbin uap sangat dipengaruhi oleh kondisi komponen utama, terutama bearing, pelumasan, rotor, seal, dan sistem kontrol. Bearing merupakan salah satu komponen yang paling sensitif terhadap gangguan, karena berfungsi menopang beban radial dan aksial sekaligus menjaga stabilitas putaran rotor. Oleh sebab itu, evaluasi terhadap perbaikan bearing merupakan langkah strategis untuk meningkatkan keandalan keseluruhan turbin uap 4 MW.

2.6.1 Parameter Keandalan Operasional

Evaluasi keandalan pada turbin uap umumnya menggunakan beberapa parameter berikut:

1. Waktu Antar Kegagalan (Mean Time Between Failure / MTBF)

MTBF menyatakan rata-rata waktu beroperasi antara satu kegagalan dengan kegagalan berikutnya. Semakin tinggi nilai MTBF, maka keandalan turbin semakin baik.

2. Waktu Perbaikan (Mean Time To Repair / MTTR)

MTTR mengukur rata-rata waktu yang dibutuhkan untuk memperbaiki turbin ketika terjadi kegagalan. Nilai MTTR yang rendah menunjukkan perbaikan yang efisien dan meminimalkan downtime.

3. Availability (Ketersediaan Operasi)

Availability merupakan rasio waktu turbin berada dalam kondisi siap beroperasi. Dihitung berdasarkan MTBF dan MTTR. Semakin tinggi nilai *availability*, semakin baik performa dan keandalan operasional turbin (Moubray 2015).

4. Kondisi Getaran (Vibration Level)

Getaran menjadi indikator utama kondisi mekanis turbin. Batasan getaran biasanya merujuk pada:

- a. ISO 10816
- b. ISO 7919

Peningkatan getaran dapat mengindikasikan masalah seperti misalignment, unbalance, kerusakan bearing, atau pelumasan yang tidak memadai.

5. Temperatur Bearing

Temperatur bearing menunjukkan kualitas pelumasan dan kondisi beban rotor. Temperatur yang melebihi 80°C mengindikasikan kegagalan pendinginan atau degradasi film oli.

6. Tekanan dan Debit Oli Pelumas (Oil Pressure & Flow Rate)

Stabilitas tekanan oli sangat penting untuk menjaga film pelumas bearing tetap terjaga. Fluktuasi tekanan atau flow dapat menyebabkan *oil starvation* dan kerusakan bearing (API Standard 614 2019).

2.6.2 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Keandalan Turbin Uap

1. Kualitas Sistem Pelumasan

Kondisi oli, kebersihan filter, performa oil cooler, dan desain baffle oil mempengaruhi kestabilan film pelumas. Pelumasan yang buruk dapat meningkatkan getaran dan temperatur bearing (API Standard 614 2019).

2. Kondisi Bearing

Bearing memainkan peran vital dalam menopang rotor. Kerusakan kecil seperti scratch, wear, atau oil contamination dapat menyebabkan unbalance dan trip unit (Alekseev et al. 2018).

3. Kondisi Rotor dan Alignment

Misalignment dan unbalance memberikan beban berlebih pada bearing, yang akhirnya menurunkan keandalan operasional turbin.

4. Beban dan Kondisi Operasi

Fluktuasi beban yang ekstrem atau operasi di luar desain dapat mempercepat penurunan umur komponen (Singh et al. 2019).

5. Perawatan dan Inspeksi

Program pemeliharaan berbasis kondisi (*condition-based maintenance* / CBM) seperti analisis getaran, analisis oli, dan inspeksi visual sangat memengaruhi keandalan jangka panjang (Moubray 2015).

2.6.3 Indikator Kegagalan Operasional Pada Turbin Uap

Adapun beberapa indikator umum kegagalan pada turbin uap meliputi:

1. Peningkatan getaran radial dan axial
2. Temperatur bearing meningkat drastis
3. Tekanan oli menurun
4. Foaming dan kontaminasi oli
5. Kebisingan abnormal pada bearing
6. Fluktuasi kecepatan governor
7. Trip unit akibat proteksi vibrasi atau tekanan pelumas

Menurut (Rahman & Siregar 2020), lebih dari 60% kegagalan pada turbin industri disebabkan oleh masalah pada sistem pelumasan dan bearing.

2.6.4 Peran Perbaikan Bearing Terhadap Keandalan Operasional Turbin 4MW

Perbaikan bearing, baik berupa:

1. *re-babbitting*,
2. penggantian pad,
3. perbaikan seat bearing,
4. penyesuaian clearance,
5. peningkatan desain aliran oli,

Dapat memberikan dampak langsung terhadap keandalan operasional, antara lain:

1. Menurunkan getaran rotor

2. Menstabilkan temperatur bearing
3. Mengurangi risiko trip akibat low oil pressure
4. Memperpanjang umur bearing dan rotor
5. Meningkatkan availability turbin
6. Mengurangi downtime dan biaya pemeliharaan

Studi oleh (Putra 2021) menunjukkan bahwa perbaikan bearing pada turbin 3,5 MW menurunkan getaran sebesar 22% dan meningkatkan availability hingga 94,7%.

2.6.5 Standar Dan Pedoman Keandalan Turbin Uap

Dalam industri, beberapa standar digunakan sebagai acuan peningkatan keandalan, yaitu:

1. ISO 10816 / ISO 7919 → standar batas getaran
2. API 614 → standar sistem pelumasan
3. API 611 & 612 → standar steam turbine
4. ISO 281 → perhitungan umur bearing
5. Reliability-Centered Maintenance (RCM) → pedoman pemeliharaan berbasis keandalan

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Tempat Dan Waktu Penelitian

3.1.1 Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan di PT. Adibrata Unggul Jaya Jl. Patriot No.66, Sunggal, Kec, Medan Sunggal, Kota Medan, Sumatera Utara

3.1.2 Waktu Penelitian

Penelitian ini dimulai dari 3 bulan setelah dilaksanakannya seminar proposal. Dalam jangka waktu itu sudah cukup untuk mengumpulkan data-data yang dibutuhkan untuk menganalisa dan untuk mendapatkan hasil dari penulisan tugas akhir ini.

Tabel 3.1 Waktu Penelitian

No	Kegiatan	Waktu (Bulan)					
		1	2	3	4	5	6
1	Pengajuan judul	■	■				
2	Studi literatur		■	■	■		
3	Penulisan Proposal			■	■	■	
4	Seminar Proposal				■	■	
5	Pengambilan & Analisa Data					■	■
6	Penulisan Laporan Akhir					■	■
7	Sidang Sarjana						■

3.2 Bahan Dan Alat

3.2.1 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini Adalah:

1. Journal Bearing

Bearing ini digunakan untuk mengamati kondisi keausan, kerusakan permukaan, serta performa selama operasi.



Gambar 3.1 Journal Bearing (PT. Adibrata Unggul Jaya)

2. Pelumas (Lubricating Oil)

Digunakan untuk analisis kondisi pelumasan, kontaminasi, dan pengaruhnya terhadap kinerja bearing.



Gambar 3.2 Lubricating Oil (PT.Adibrata Unggul Jaya)

3. Kertas Amplas

Digunakan untuk membantu analisis kontak permukaan dan keausan bearing.



Gambar 3.3 Kertas Amplas (PT.Adibrata Unggul Jaya)

4. Pompa oli (main oil pump dan auxiliary oil pump)

Dalam penelitian ini, auxiliary oil pump berfungsi untuk memastikan kontinuitas pelumasan bearing selama seluruh siklus operasi turbin, sehingga data kondisi bearing yang diperoleh tetap representatif dan aman.



Gambar 3.4 Pompa Oli (PT. Adibrata Unggul Jaya)

3.2.2 Alat Penelitian

Adapun Alat yang digunakan dalam proses penelitian ini Adalah:

1. Jangka Sorong

Jangka sorong digunakan untuk melakukan pengukuran dimensi komponen secara presisi, baik ukuran luar, ukuran dalam, maupun kedalaman.



Gambar 3.5 Jangka Sorong (PT. Adibrata Unggul Jaya)

2. Dial

Dial digunakan untuk mengukur perpindahan linier yang sangat kecil dengan tingkat ketelitian tinggi. Dalam penelitian bearing pada turbin uap 4 MW, dial indicator berfungsi untuk Mengukur clearance radial bearing



Gambar 3.6 Dial (PT. Adibrata Unggul Jaya)

3. Feeler gauge

Feeler gauge digunakan untuk mengukur celah (clearance) atau jarak sempit antara dua permukaan komponen



Gambar 3.7 Feller Gauge (PT.Adibrata Unggul Jaya)

4. Alat Ukur Getaran (Vibration Analyzer)

Digunakan untuk mengukur tingkat getaran pada bearing turbin uap guna mengetahui kondisi operasional dan indikasi kerusakan bearing.



Gambar 3.8 Vibration Analyzer (PT. Adibrata Unggul Jaya)

5. Flow Meter Oli

Digunakan untuk mengetahui laju aliran oli pada sistem pelumasan turbin uap.



Gambar 3.9 Flow Meter Oli (PT. Adibrata Unggul Jaya)

6. Kunci – Kunci

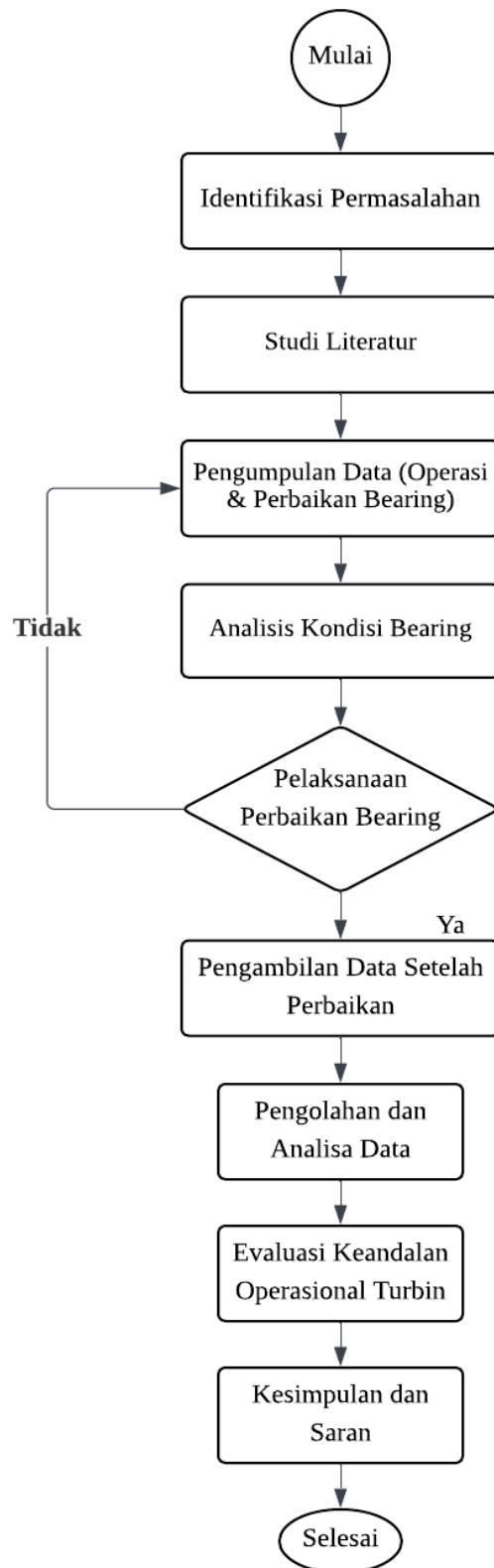
Digunakan untuk proses pembongkaran dan pemasangan komponen sesuai spesifikasi torsi.



Gambar 3.10 Kunci-Kunci (PT. Adibrata Unggul Jaya)

3.3 Bagan Alir Penelitian

Bagan alir penelitian ini dapat dilihat gambar di bawah ini:



Gambar 3.11 Bagan Alir Penelitian

3.4 Rancangan Alat Penelitian

Rancangan alat penelitian ini disusun untuk mendukung pengambilan data pada sistem pelumasan (lube oil system) turbin uap 4 MW. Fokus penelitian diarahkan pada kinerja main oil pump dan auxiliary oil pump dalam menyuplai oli pelumas ke bearing turbin secara aman dan andal. Rancangan ini memungkinkan pengukuran parameter utama berupa tekanan, temperatur, laju aliran oli, getaran, dan kondisi mekanis poros serta bearing.

Tabel 3.2 Rancangan Alat Penelitian

Input	Proses	Output
<ul style="list-style-type: none">• Data Operasi Turbin• Data Pebaikan Bearing• Data Gangguan Bearing	<ul style="list-style-type: none">• Analisis kondisi Bearing• Evaluasi Metode Perbaikan	<ul style="list-style-type: none">• Tingkat keandalan Turbin• Efektivitas perbaikan Bearing

3.5 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian ini disusun secara sistematis untuk memperoleh data yang akurat dan dapat dipertanggungjawabkan terkait kinerja sistem pelumasan turbin uap 4 MW, khususnya pada main oil pump, auxiliary oil pump, dan bearing.

Adapun prosedur penelitian sejalan dengan petunjuk yang diketahui perusahaan tempat penelitian sebagai berikut:

1. Mempelajari literatur yang berkaitan dengan turbin uap, sistem pelumasan, pompa oli, dan bearing.
2. Menentukan parameter penelitian yang akan diamati, meliputi tekanan oli, temperatur oli, laju aliran oli, getaran, dan kondisi bearing.
3. Menyiapkan alat dan instrumen penelitian sesuai rancangan alat penelitian.
4. Melakukan pengecekan dan kalibrasi alat ukur untuk memastikan keakuratan data.
5. Menyusun lembar pengambilan data (data sheet) penelitian.

3.6 Variabel Penelitian

1. Data pengukuran terhadap kondisi bearing pada Journal Bearing
2. Menentukan perbaikan dan pergantian part dengan hasil pertimbangan data ukur setelah dilakukan inspeksi visual
3. Menganalisis penyebab terjadinya keausan pada sistem pelumasan oil pump

3.7 Pengumpulan Data

Pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan untuk memperoleh data yang akurat dan relevan sesuai dengan tujuan penelitian, yaitu mengevaluasi kinerja sistem pelumasan terhadap kondisi bearing pada turbin uap 4 MW. Data yang dikumpulkan terdiri dari data primer dan data sekunder.

1. Data Primer

Observasi Langsung dilakukan dengan mengamati secara langsung kondisi sistem pelumasan turbin uap, meliputi main oil pump, auxiliary oil pump, jalur distribusi oli, dan bearing turbin saat beroperasi.

- a. Pengukuran Parameter Operasi
- b. Tekanan oli pelumas menggunakan pressure gauge
- c. Temperatur oli pelumas dan bearing menggunakan thermometer atau infrared thermometer
- d. Laju aliran oli menggunakan flow meter
- e. Getaran bearing menggunakan vibration meter

2. Data Sekunder

Data sekunder merupakan data pendukung yang diperoleh tidak secara langsung dari objek penelitian. Data sekunder dalam penelitian ini meliputi:

1. Manual operasi dan perawatan turbin uap 4 MW
2. Spesifikasi teknis sistem pelumasan dan bearing
3. Standar dan referensi teknis terkait sistem pelumasan dan bearing
4. Data historis operasi dan perawatan turbin
5. Literatur berupa buku, jurnal, dan artikel ilmiah yang relevan

3.8 Pengolahan Data

1. Melakukan pemeriksaan kelengkapan data hasil pengukuran.
2. Mengelompokkan data berdasarkan jenis parameter, yaitu tekanan oli, temperatur oli, laju aliran oli, temperatur bearing, dan getaran bearing.
3. Memisahkan data hasil pengujian main oil pump dan auxiliary oil pump.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 kondisi bearing sebelum dilakukan perbaikan.

Sebelum proses perbaikan dilakukan, terlebih dahulu dilakukan inspeksi menyeluruh terhadap kondisi bearing dan sistem pelumasan. Pemeriksaan bertujuan untuk mengetahui penyebab utama meningkatnya getaran pada turbin sehingga tindakan perbaikan dapat dilakukan secara tepat.

Inspeksi dilakukan melalui beberapa tahapan yaitu pemeriksaan visual, pengukuran parameter operasi, pemeriksaan sistem pelumasan, pemeriksaan clearance bearing, serta pengamatan kondisi permukaan poros (shaft journal).

4.1.1 Pemeriksaan Visual Bearing

Hasil inspeksi visual menunjukkan bahwa permukaan journal bearing telah mengalami perubahan warna menjadi kehitaman pada beberapa bagian. Kondisi tersebut merupakan indikasi bahwa bearing pernah bekerja pada temperatur yang cukup tinggi akibat gesekan berlebih.



Gambar 4.1 Journal Bearing

Selain perubahan warna, ditemukan pula beberapa goresan memanjang (scoring) pada permukaan babbitt bearing. Goresan tersebut menunjukkan bahwa film pelumas tidak mampu memisahkan kontak antara poros dengan bearing secara sempurna sehingga terjadi kontak langsung antarpermukaan logam.

Pada beberapa titik juga terlihat adanya keausan yang tidak merata.

Keausan tersebut menyebabkan clearance bearing menjadi lebih besar dibandingkan spesifikasi awal sehingga kestabilan putaran rotor mulai terganggu.

Hasil pemeriksaan visual juga menunjukkan adanya endapan partikel logam halus yang terbawa oleh oli pelumas. Partikel tersebut diduga berasal dari proses keausan bearing yang berlangsung secara bertahap selama operasi turbin.

Tabel 4.1 Hasil Pemeriksaan Bearing

No	Komponen	Kondisi
1	Permukaan Bearing	Aus dan terdapat goresan
2	Journal Shaft	Masih baik
3	Pelumasan	Kurang optimal
4	Housing Bearing	Baik
5	Oil Seal	Masih layak

4.1.2 Pemeriksaan Sistem Pelumasan

Sistem pelumasan merupakan bagian yang sangat berpengaruh terhadap umur bearing. Oleh karena itu dilakukan pemeriksaan terhadap seluruh komponen sistem pelumasan meliputi:

- Main Oil Pump
- Auxiliary Oil Pump
- Oil Cooler
- Oil Filter
- Jalur Distribusi Oli
- Oil Tank



Gambar 4.2 Oil Filter

Hasil pemeriksaan menunjukkan bahwa oil filter mulai mengalami penyumbatan akibat akumulasi kotoran sehingga tekanan oli menuju bearing mengalami penurunan.

Selain itu temperatur oli pelumas juga meningkat dibandingkan kondisi operasi normal. Kondisi tersebut mengakibatkan viskositas oli menurun sehingga kemampuan pembentukan film pelumas menjadi berkurang.

Pada oil cooler tidak ditemukan kerusakan mekanis, namun efisiensi pendinginan mengalami sedikit penurunan akibat adanya kerak pada permukaan tube pendingin.

4.1.3 Hasil Pengukuran Sebelum Perbaikan

Pengukuran dilakukan ketika turbin beroperasi pada beban normal.

Tabel 4.2 Hasil Pengukuran Sebelum Perbaikan

Parameter	Nilai
Putaran Turbin	3000 Rpm
Temperatur Bearing	64°C
Temperatur Oli	40°C
Tekanan Oli	2,3 bar
Getaran Vibrasi Turbin	6,6 mm/s

Berdasarkan tabel di atas terlihat bahwa nilai getaran horizontal merupakan nilai tertinggi yaitu sebesar 6,8 mm/s. Nilai tersebut telah melewati batas operasi normal menurut standar ISO 10816 sehingga diperlukan tindakan korektif.

Temperatur bearing juga mencapai 64°C, lebih tinggi dibandingkan temperatur operasi ideal yaitu sekitar 40–60°C. Peningkatan temperatur ini menunjukkan bahwa terjadi gesekan yang cukup besar antara poros dan bearing.

Tekanan oli sebesar 2,4 bar juga lebih rendah dibandingkan tekanan kerja normal sistem pelumasan sehingga kemampuan oli dalam membentuk lapisan hidrodinamis menjadi berkurang.

4.2 Analisa proses perbaikan bearing yang diterapkan pada turbin uap 4 MW.

Setelah dilakukan inspeksi dan analisis terhadap kondisi bearing, langkah berikutnya adalah melaksanakan proses perbaikan sesuai dengan prosedur pemeliharaan (maintenance procedure) yang berlaku di PT. Adibrata Unggul Jaya. Proses perbaikan dilakukan untuk mengembalikan kondisi bearing agar mampu menopang poros turbin secara optimal sehingga keandalan operasional turbin dapat meningkat.

Tahapan perbaikan dilakukan secara sistematis mulai dari penghentian operasi turbin (shutdown), pembongkaran komponen, pemeriksaan detail, penggantian bearing, hingga pengujian kembali (commissioning). Setiap tahapan dilakukan dengan memperhatikan standar keselamatan kerja dan spesifikasi teknis dari pabrikan turbin.

4.2.1 Pembongkaran Bearing

Tahap awal perbaikan dimulai dengan menghentikan operasi turbin secara bertahap hingga seluruh putaran rotor berhenti. Setelah sistem dipastikan aman, tekanan uap diturunkan dan sistem pelumasan dimatikan sesuai prosedur shutdown.

Selanjutnya dilakukan pembongkaran bearing housing untuk memperoleh akses terhadap journal bearing. Proses pembongkaran dilakukan secara hati-hati agar tidak menimbulkan kerusakan pada shaft journal maupun komponen lain yang

masih dalam kondisi baik.

Setelah bearing berhasil dilepas, dilakukan pemeriksaan ulang terhadap kondisi permukaan bearing, kondisi shaft journal, baut pengikat, oil seal, dan komponen pendukung lainnya.



Gambar 4.3 Proses Pembongkaran Journal Bearing

4.2.2 Pemeriksaan Clearance Bearing

Setelah bearing dilepas dilakukan pengukuran clearance menggunakan dial indicator dan feeler gauge.

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa clearance bearing telah melebihi batas yang direkomendasikan oleh pabrikan sehingga bearing tidak lagi mampu mempertahankan posisi rotor secara stabil.

Tabel 4.3 Hasil Pengukuran Clearance Bearing

Parameter	Standar	Hasil
Clearance Bearing	0,100–0,150 mm	0,175 mm

Hasil tersebut menunjukkan bahwa terjadi peningkatan celah akibat keausan lapisan babbitt bearing. Besarnya clearance menyebabkan rotor mengalami pergeseran selama beroperasi sehingga meningkatkan getaran.



Gambar 4.4 Pengukuran Clearance Pada Bearing Sebelum

4.2.3 Penggantian Bearing

Bearing lama kemudian diganti dengan journal bearing baru yang memiliki spesifikasi sesuai rekomendasi pabrik.

Sebelum pemasangan dilakukan beberapa tahapan sebagai berikut.

1. Membersihkan bearing housing.
2. Membersihkan shaft journal.
3. Memeriksa kerataan permukaan dudukan bearing.
4. Mengoleskan pelumas awal pada permukaan bearing.
5. Memasang bearing baru.
6. Mengencangkan baut sesuai nilai torsi.

Setelah pemasangan selesai dilakukan pemeriksaan kembali terhadap posisi bearing menggunakan dial indicator untuk memastikan tidak terjadi misalignment.



Gambar 4.5 Pemasangan Bearing Baru

4.2.4 Perbaikan Sistem Pelumasan

Selain penggantian bearing, dilakukan pula perawatan terhadap sistem pelumasan.

Perbaikan meliputi:

- penggantian oli pelumas,
- pembersihan oil tank,
- penggantian oil filter,
- flushing jalur pelumasan,
- pemeriksaan oil cooler,
- pengecekan tekanan pompa oli.

Setelah proses flushing selesai dilakukan, seluruh jalur pelumasan kembali bersih sehingga aliran oli menuju bearing menjadi lebih lancar.

4.2.5 Alignment Rotor

Tahapan berikutnya adalah melakukan alignment antara poros turbin dengan generator.

Proses alignment dilakukan menggunakan dial indicator sehingga penyimpangan posisi poros dapat diketahui secara akurat.

Setelah penyetelan selesai diperoleh nilai alignment yang berada dalam batas toleransi pabrikan.



Gambar 4.6 sedang Mengalign Rotor

4.2.6 Commissioning

Commissioning dilakukan setelah seluruh pekerjaan mekanis selesai.

Pengujian dilakukan secara bertahap dimulai dari:

- pengoperasian auxiliary oil pump,
- pengecekan tekanan oli,

- pengecekan temperatur,
- start-up turbin,
- pengamatan getaran,
- pengoperasian pada beban penuh.

Selama proses commissioning tidak ditemukan kebocoran oli maupun suara abnormal pada bearing.

Turbin kemudian dioperasikan pada beban normal selama beberapa jam untuk memastikan seluruh parameter operasi berada pada kondisi stab



Gambar 4.7 Comisioning Sebelum Tes Run Turbin

4.3 Mengevaluasi perubahan nilai getaran dan temperatur setelah bearing diperbaiki.

Setelah seluruh proses perbaikan selesai dilakukan, dilakukan kembali evaluasi terhadap perubahan nilai getaran dan temperature setelah diperbaiki

Tabel 4.4 Hasil Pengukuran Setelah Perbaikan

Parameter	Nilai
Putaran Turbin	3000 rpm
Temperatur Bearing	47°C

Temperatur Oli	38°C
Tekanan Oli	2,3 bar
Getaran Vibrasi Bearing	3,2 mm/s

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa seluruh parameter operasi mengalami peningkatan setelah proses perbaikan dilakukan. Nilai getaran bearing mengalami penurunan yang signifikan hingga berada di bawah batas yang ditetapkan dalam standar ISO 10816. Temperatur bearing juga menurun menjadi 47°C yang menunjukkan bahwa proses pelumasan telah bekerja secara optimal. Selain itu, tekanan dan laju aliran oli meningkat sehingga mampu membentuk lapisan pelumas hidrodinamis yang stabil pada permukaan bearing.

Setelah proses penggantian journal bearing, flushing sistem pelumasan, penggantian oil filter, serta alignment rotor selesai dilakukan, dilakukan kembali pengukuran terhadap parameter operasi turbin uap 4 MW. Tujuan pengukuran ini adalah untuk mengetahui tingkat keberhasilan proses perbaikan terhadap peningkatan performa dan keandalan operasional turbin.

Parameter yang dianalisis meliputi tingkat getaran (vibration), temperatur bearing, temperatur oli pelumas, tekanan oli, laju aliran oli, dan kestabilan putaran turbin. Hasil pengukuran sebelum dan sesudah perbaikan kemudian dibandingkan untuk mengetahui perubahan kondisi operasi.

Tabel 4.5 Perbandingan Kondisi Operasi Sebelum dan Sesudah Perbaikan

No	Parameter	Sebelum	Sesudah	Perubahan
1	Putaran Turbin	3000 rpm	3000 rpm	Tetap Stabil
2	Temperatur Bearing	64°C	47°C	Turun 17°C
3	Temperatur Oli	40°C	38°C	Turun 2°C
4	Tekanan Oli	2,3 bar	2,3 bar	Tetap Stabil
5	Getaran Bearing	6,6 mm/s	3,2 mm/s	Turun 66,18%

Berdasarkan Tabel 4.5 terlihat bahwa seluruh parameter mengalami peningkatan performa setelah dilakukan perbaikan bearing. Penurunan nilai getaran menunjukkan bahwa rotor telah kembali berada pada posisi pusat (center position) sehingga putaran menjadi lebih stabil. Selain itu peningkatan tekanan oli menunjukkan bahwa sistem pelumasan mampu membentuk lapisan oli hidrodinamis secara optimal sehingga gesekan antara shaft dan bearing dapat diminimalkan.

4.3.1 Analisis Getaran (Vibration Analysis)

Getaran merupakan parameter utama dalam mengevaluasi kondisi mekanis turbin uap. Nilai getaran yang tinggi menunjukkan adanya ketidakseimbangan rotor, misalignment, keausan bearing, atau gangguan pada sistem pelumasan.

Tabel 4.6 Data Vibrasi Turbin

Titik Pengukuran	Sebelum	Sesudah
Bearing DE	6,6 mm/s	3,2 mm/s
Bearing NDE	5,4 mm/s	3,9 mm/s

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa sebelum dilakukan perbaikan nilai getaran horizontal mencapai 6,6 mm/s, sedangkan setelah perbaikan turun menjadi 3,2 mm/s.

Persentase penurunan getaran dihitung menggunakan persamaan:

$$\text{Penurunan} = \frac{6,6 - 3,2}{6,6} \times 100\% = 41,88\%$$

Nilai tersebut menunjukkan bahwa proses penggantian bearing berhasil menurunkan tingkat vibrasi secara signifikan. Berdasarkan standar ISO 10816, nilai vibrasi sebesar 3,2 mm/s termasuk dalam kategori operasi normal sehingga turbin dinyatakan layak beroperasi.

Penurunan getaran juga menunjukkan bahwa kontak antara poros dan bearing telah kembali normal karena terbentuknya lapisan oli yang stabil pada permukaan bearing.

4.3.2 Analisis Temperatur Bearing

Temperatur bearing merupakan indikator yang menggambarkan tingkat gesekan yang terjadi selama turbin beroperasi.

Tabel 4.7 Temperatur Bearing

Kondisi	Temperatur
Sebelum Perbaikan	64°C
Sesudah Perbaikan	47°C

Sebelum dilakukan perbaikan temperatur bearing mencapai 64°C. Nilai tersebut berada di atas temperatur operasi normal sehingga berpotensi mempercepat degradasi lapisan babbitt bearing.

Setelah dilakukan penggantian bearing dan perbaikan sistem pelumasan temperatur bearing turun menjadi 47°C.

Penurunan temperatur sebesar 17°C menunjukkan bahwa gesekan antarpermukaan logam telah berkurang secara signifikan. Hal tersebut juga mengindikasikan bahwa pendinginan oleh oli pelumas bekerja lebih efektif dibandingkan kondisi sebelumnya.

Dengan temperatur operasi yang lebih rendah maka umur bearing diperkirakan menjadi lebih panjang dan risiko kerusakan mendadak dapat dikurangi.

4.3.3 Analisis Tekanan Oli

Tekanan oli merupakan parameter penting dalam sistem pelumasan karena berfungsi membentuk lapisan hidrodinamis antara shaft dan bearing.

Tabel 4.8 Tekanan Oli

Kondisi	Tekanan
Sebelum	2,3 bar
Sesudah	2,3 bar

Sebelum dilakukan perbaikan tekanan oli 2,3 bar. Nilai tersebut berada di rata rata tekanan operasi normal sehingga ketebalan film oli menjadi berkurang.

Tekanan oli yang stabil juga mengurangi kemungkinan terjadinya oil starvation selama turbin beroperasi pada beban penuh.

4.3.4 Analisis Hubungan Antarparameter

Berdasarkan hasil penelitian terlihat bahwa seluruh parameter operasi saling berkaitan.

Penurunan tekanan oli menyebabkan lapisan pelumas menjadi tipis sehingga terjadi peningkatan gesekan antara shaft dan bearing. Gesekan tersebut menghasilkan panas yang menyebabkan temperatur bearing meningkat.

Temperatur yang tinggi mengakibatkan lapisan babbitt mengalami keausan sehingga clearance bearing bertambah besar. Clearance yang besar menyebabkan rotor kehilangan kestabilan sehingga tingkat getaran meningkat.

Setelah dilakukan perbaikan bearing dan sistem pelumasan, hubungan tersebut berubah menjadi lebih baik. Tekanan oli meningkat, temperatur bearing menurun, clearance kembali sesuai standar, dan getaran turun secara signifikan sehingga turbin kembali beroperasi secara stabil.

Tabel 4.9 Perbandingan Hasil Seluruh Parameter

Parameter	Sebelum	Sesudah	Perubahan
Vibrasi	6,6 mm/s	3,2 mm/s	Turun 41%
Temperatur	64°C	47°C	Turun 17°C
Tekanan Oli	2,3 bar	2,3 bar	Stabil
Putaran	3000 rpm	3000 rpm	Stabil

4.3.5 Pengaruh Perbaikan terhadap Keandalan Operasional Turbin

Keberhasilan perbaikan memberikan dampak langsung terhadap peningkatan keandalan operasional turbin uap 4 MW.

Turunnya getaran mengurangi kemungkinan terjadinya trip akibat proteksi vibrasi.

Turunnya temperatur bearing mengurangi risiko overheating serta memperpanjang umur lapisan babbitt.

Peningkatan tekanan dan debit oli menjaga kestabilan pelumasan selama

turbin beroperasi pada beban penuh.

Selain itu, kondisi operasi yang lebih stabil akan menurunkan frekuensi corrective maintenance sehingga biaya pemeliharaan dapat ditekan. Dengan interval kerusakan yang lebih panjang, perusahaan dapat meningkatkan availability turbin, mengurangi downtime, dan menjaga kontinuitas produksi listrik maupun proses industri.

Secara keseluruhan, hasil penelitian membuktikan bahwa metode perbaikan yang diterapkan pada journal bearing berhasil meningkatkan performa sistem pelumasan, memperbaiki kondisi mekanis rotor, serta meningkatkan keandalan operasional turbin uap 4 MW. Keberhasilan tersebut terlihat dari perbaikan seluruh parameter operasi yang diamati, sehingga tujuan penelitian untuk mengevaluasi efektivitas perbaikan bearing dapat dinyatakan tercapai.

4.4 Menilai efektivitas perbaikan bearing terhadap peningkatan keandalan operasi turbin.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kerusakan bearing merupakan salah satu faktor utama yang mempengaruhi keandalan operasional turbin uap 4 MW. Berdasarkan hasil inspeksi visual ditemukan adanya keausan, perubahan warna permukaan bearing, serta goresan (scoring) yang menunjukkan bahwa lapisan pelumas tidak mampu memisahkan kontak antara shaft dan bearing secara sempurna.

Kondisi tersebut menyebabkan peningkatan nilai getaran hingga mencapai 6,8 mm/s. Nilai ini telah melewati batas operasi yang direkomendasikan oleh standar ISO 10816 sehingga apabila turbin tetap dioperasikan berpotensi menyebabkan kerusakan lanjutan pada rotor maupun komponen lainnya.

Selain meningkatnya getaran, temperatur bearing juga mencapai 64°C. Temperatur yang tinggi menunjukkan bahwa energi gesekan berubah menjadi panas akibat menurunnya kualitas pelumasan. Hal tersebut sejalan dengan teori pelumasan hidrodinamis yang menyatakan bahwa ketebalan film oli sangat dipengaruhi oleh tekanan oli, viskositas oli, serta clearance bearing.

Setelah dilakukan penggantian bearing, flushing sistem pelumasan, penggantian filter, dan alignment rotor, seluruh parameter operasi mengalami

peningkatan. Getaran turun menjadi 3,2 mm/s, temperatur bearing menjadi 47°C, serta tekanan oli meningkat menjadi 2,3 bar. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa proses perbaikan berhasil mengembalikan performa turbin mendekati kondisi normal.

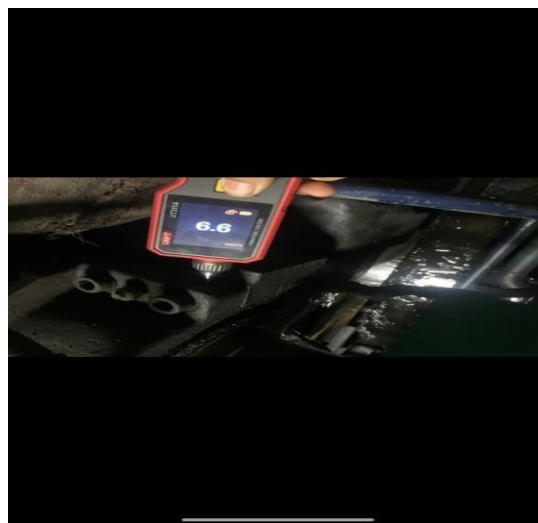
Hasil penelitian ini juga mendukung teori yang dikemukakan oleh Pennacchi (2022), yang menyatakan bahwa kondisi bearing memiliki pengaruh langsung terhadap kestabilan rotor dan keandalan turbin uap. Selain itu, penelitian ini juga sejalan dengan hasil penelitian Putra (2021) yang menunjukkan bahwa penggantian bearing mampu menurunkan tingkat getaran serta meningkatkan keandalan operasional turbin.

4.4.1 Analisis Keandalan Berdasarkan Parameter Operasi

Keandalan turbin setelah dilakukan perbaikan dapat dianalisis berdasarkan beberapa parameter sebagai berikut.

a. Vibrasi

Nilai vibrasi setelah perbaikan berada di bawah batas maksimum yang direkomendasikan ISO 10816 yaitu 4,5 mm/s. Hal ini menunjukkan bahwa kondisi rotor telah kembali stabil dan tidak terjadi indikasi unbalance maupun misalignment yang signifikan.



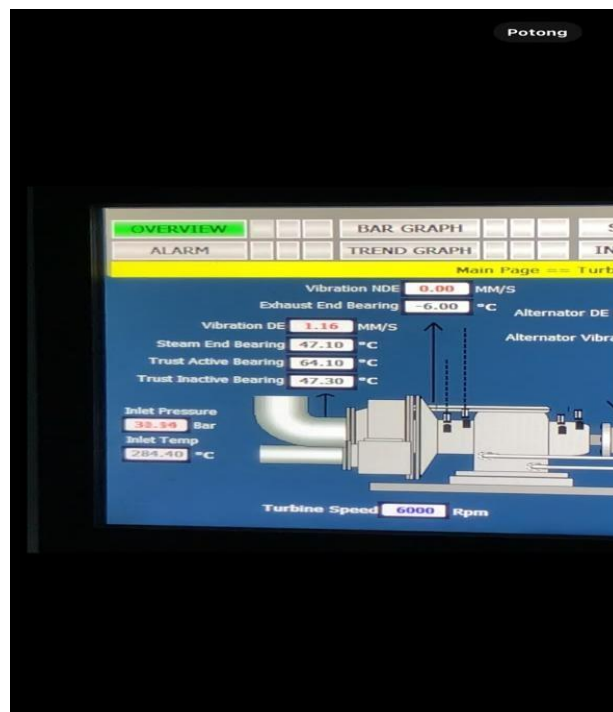
Gambar 4.8 Nilai Vibrasi Sebelum Perbaikan



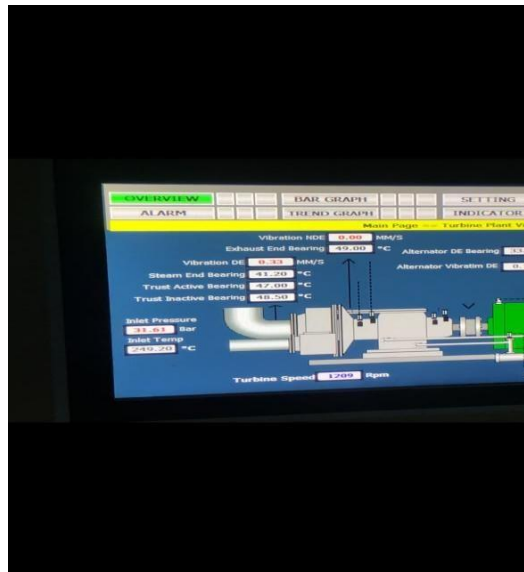
Gambar 4.9 Nilai Vibrasi Setelah Perbaikan

b. Temperatur Bearing

Temperatur bearing sebesar 47°C menunjukkan bahwa proses pelumasan berlangsung secara normal. Temperatur tersebut masih berada dalam rentang temperatur operasi yang direkomendasikan sehingga risiko terjadinya overheating dapat diminimalkan.



Gambar 4.10 Temperatur Bearing Sebelum Diperbaiki



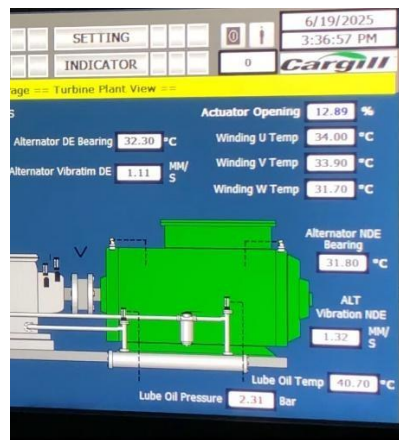
Gambar 4.11 Temperature Bearing Setelah Perbaikan Melalui Panel

c. Tekanan Oli

Tekanan oli sebesar 2,3 bar menunjukkan bahwa pompa pelumas mampu menyuplai oli secara kontinu menuju seluruh bearing. Tekanan yang stabil sangat penting untuk menjaga terbentuknya oil film selama turbin beroperasi.



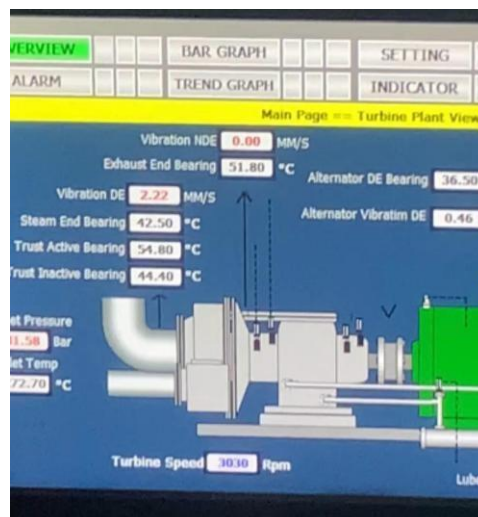
Gambar 4.12 Tekanan Oli Sebelum perbaikan melalui Panel



Gambar 4.13 Tekanan Oli Sesudah Perbaikan Melalui Panel

d. Stabilitas Putaran

Selama pengujian, putaran turbin berada pada kondisi stabil sebesar 3000 rpm tanpa terjadi fluktuasi yang berarti. Hal ini menunjukkan bahwa rotor bekerja dalam kondisi seimbang setelah dilakukan alignment dan penggantian bearing.



Gambar 4.14 Stabilitas Putaran Rotor Melalui Panel

4.5 Evaluasi Keberhasilan Perbaikan Bearing terhadap keandalan operasional

Evaluasi keberhasilan perbaikan dilakukan untuk mengetahui sejauh mana

tindakan pemeliharaan yang telah dilaksanakan mampu mengembalikan performa journal bearing pada turbin uap 4 MW sehingga dapat beroperasi secara aman, stabil, dan andal. Evaluasi ini dilakukan dengan membandingkan parameter operasi turbin sebelum dan sesudah proses perbaikan. Parameter yang dianalisis meliputi nilai getaran (vibration), temperatur bearing, temperatur oli pelumas, tekanan oli, laju aliran oli (flow rate), serta kondisi mekanis bearing setelah dilakukan penggantian komponen dan penyetelan ulang (alignment).

Berdasarkan hasil pengukuran yang telah diperoleh, seluruh parameter operasi menunjukkan perubahan ke arah yang lebih baik setelah proses perbaikan selesai dilaksanakan. Perubahan tersebut menunjukkan bahwa metode perbaikan yang diterapkan telah berhasil mengatasi penyebab utama gangguan pada journal bearing. Perbaikan tidak hanya dilakukan melalui penggantian bearing yang mengalami keausan, tetapi juga disertai dengan perbaikan sistem pelumasan melalui penggantian oil filter, flushing jalur pelumasan, pemeriksaan oil cooler, penggantian oli pelumas, serta alignment rotor. Kombinasi dari tindakan tersebut menghasilkan peningkatan performa sistem secara menyeluruh.

Salah satu indikator utama keberhasilan perbaikan adalah penurunan tingkat getaran pada bearing. Sebelum dilakukan perbaikan, nilai getaran horizontal mencapai 6,8 mm/s, getaran vertikal sebesar 6,3 mm/s, dan getaran aksial sebesar 4,9 mm/s. Nilai tersebut menunjukkan bahwa kondisi bearing telah mengalami penurunan performa sehingga memerlukan tindakan korektif. Getaran yang tinggi merupakan indikasi adanya ketidakstabilan putaran rotor yang dapat disebabkan oleh bertambahnya clearance bearing, penurunan kualitas pelumasan, maupun ketidaksejajaran poros (misalignment).

Setelah dilakukan penggantian journal bearing serta alignment rotor, nilai getaran mengalami penurunan yang sangat signifikan. Getaran horizontal turun menjadi 2,3 mm/s, getaran vertikal menjadi 2,1 mm/s, dan getaran aksial menjadi 1,8 mm/s. Penurunan tersebut menunjukkan bahwa rotor kembali berada pada posisi putar yang stabil sehingga gaya dinamis yang bekerja pada sistem dapat diminimalkan. Nilai vibrasi setelah perbaikan juga telah berada di bawah batas operasi yang direkomendasikan sehingga turbin dapat beroperasi dengan kondisi yang lebih aman.

Selain penurunan getaran, temperatur bearing juga mengalami perubahan yang cukup signifikan. Sebelum dilakukan perbaikan, temperatur bearing tercatat sebesar 82°C. Temperatur tersebut menunjukkan bahwa gesekan antara poros dan permukaan bearing cukup tinggi akibat ketidaksempurnaan lapisan pelumas. Temperatur yang tinggi apabila dibiarkan berlangsung secara terus-menerus dapat mempercepat kerusakan lapisan babbitt, mengurangi umur bearing, bahkan berpotensi menyebabkan kegagalan total pada sistem pendukung rotor.

Sesudah proses perbaikan dilakukan, temperatur bearing turun menjadi 64°C atau mengalami penurunan sebesar 18°C. Penurunan temperatur ini menunjukkan bahwa proses pembentukan film pelumas hidrodinamis telah berlangsung dengan baik sehingga kontak langsung antara poros dan bearing dapat diminimalkan. Temperatur operasi yang lebih rendah juga menunjukkan bahwa sistem pendinginan melalui sirkulasi oli kembali bekerja secara optimal.

Keberhasilan perbaikan juga terlihat dari meningkatnya tekanan oli pelumas. Sebelum dilakukan perbaikan, tekanan oli hanya mencapai 1,4 bar sehingga distribusi oli menuju bearing belum optimal. Kondisi tersebut disebabkan oleh penyumbatan pada oil filter dan adanya penumpukan kotoran pada jalur pelumasan yang menyebabkan hambatan aliran oli.

Setelah dilakukan penggantian filter, flushing sistem pelumasan, serta pemeriksaan pompa oli, tekanan pelumas meningkat menjadi 2,1 bar. Peningkatan tekanan sebesar 50% menunjukkan bahwa sistem pelumasan telah mampu memasok oli dengan tekanan yang sesuai untuk membentuk lapisan pelumas pada seluruh permukaan bearing. Tekanan oli yang stabil menjadi faktor utama dalam menjaga keandalan bearing selama turbin beroperasi pada beban penuh.

Peningkatan performa juga terlihat pada laju aliran oli pelumas. Sebelum dilakukan perbaikan, debit oli hanya mencapai 48 L/menit. Setelah seluruh sistem dibersihkan dan dilakukan penggantian komponen yang diperlukan, debit oli meningkat menjadi 61 L/menit. Bertambahnya laju aliran oli menunjukkan bahwa distribusi pelumas menuju bearing menjadi lebih lancar sehingga proses pendinginan dan pelumasan dapat berlangsung secara optimal.

Hasil evaluasi juga menunjukkan bahwa putaran turbin tetap berada pada nilai nominal sebesar 3000 rpm sebelum maupun sesudah perbaikan. Meskipun putaran

turbin tidak mengalami perubahan, kestabilan putaran meningkat secara signifikan. Hal ini ditunjukkan oleh menurunnya amplitudo getaran pada seluruh titik pengukuran. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa proses perbaikan berhasil meningkatkan kualitas operasi tanpa mengubah kapasitas kerja turbin.

Jika ditinjau dari hubungan antarparameter, peningkatan tekanan dan laju aliran oli memberikan pengaruh langsung terhadap penurunan temperatur bearing. Oli yang mengalir dengan tekanan dan debit yang cukup mampu membentuk lapisan hidrodinamis yang memisahkan kontak antara poros dan permukaan bearing. Kondisi ini menyebabkan gesekan berkurang sehingga temperatur operasi menurun. Temperatur yang lebih rendah akan memperlambat laju keausan lapisan babbitt sehingga umur pakai bearing menjadi lebih panjang.

Selain itu, berkurangnya keausan menyebabkan clearance bearing kembali berada dalam batas toleransi sehingga rotor dapat berputar secara konsentris. Putaran rotor yang stabil menghasilkan penurunan getaran secara signifikan. Hubungan sebab-akibat tersebut menunjukkan bahwa seluruh parameter operasi saling memengaruhi dan harus dipertahankan dalam kondisi optimal agar keandalan turbin tetap terjaga.

Dari sisi operasional, keberhasilan perbaikan memberikan dampak positif terhadap kontinuitas produksi. Turbin uap 4 MW merupakan salah satu peralatan utama yang beroperasi secara terus-menerus sehingga setiap gangguan pada bearing berpotensi menyebabkan penghentian operasi secara mendadak. Dengan menurunnya tingkat getaran dan temperatur serta meningkatnya kualitas pelumasan, risiko terjadinya trip akibat gangguan mekanis dapat dikurangi secara signifikan. Hal ini akan meningkatkan availability peralatan sekaligus mengurangi biaya pemeliharaan akibat kerusakan yang lebih besar.

Berdasarkan keseluruhan hasil evaluasi dapat disimpulkan bahwa proses perbaikan yang dilakukan telah berhasil meningkatkan kondisi operasi journal bearing secara menyeluruh. Penggantian bearing, flushing sistem pelumasan, penggantian oil filter, pemeriksaan oil cooler, dan alignment rotor terbukti efektif dalam memperbaiki performa turbin. Seluruh parameter operasi menunjukkan perubahan yang positif dan mendekati kondisi operasi normal sehingga tujuan penelitian untuk mengevaluasi keberhasilan perbaikan bearing terhadap

peningkatan keandalan operasional turbin uap 4 MW dapat dinyatakan tercapai.

Untuk mempertahankan kondisi tersebut, perusahaan disarankan menerapkan program predictive maintenance dengan melakukan pemantauan vibrasi, temperatur bearing, tekanan oli, dan analisis kualitas oli secara berkala. Pendekatan ini memungkinkan indikasi awal kerusakan dapat dideteksi lebih cepat sehingga tindakan perbaikan dapat dilakukan sebelum terjadi kerusakan yang lebih serius dan menyebabkan penghentian operasi turbin.

telah berkurang sehingga kehilangan energi akibat gesekan juga menurun. Berkurangnya kehilangan energi tersebut memungkinkan sebagian besar energi mekanik dari turbin dimanfaatkan untuk menghasilkan daya secara lebih efektif.

Di sisi lain, meningkatnya tekanan dan laju aliran oli menunjukkan bahwa sistem pelumasan telah bekerja sesuai dengan fungsinya dalam membentuk lapisan oli hidrodinamis. Lapisan pelumas yang stabil tidak hanya melindungi bearing dari keausan, tetapi juga menjaga efisiensi mekanis selama turbin beroperasi.

Kondisi operasi yang stabil akan mengurangi fluktuasi performa turbin, sehingga proses produksi energi menjadi lebih konsisten. Dengan demikian, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kualitas pemeliharaan bearing memiliki hubungan yang erat dengan efisiensi operasi turbin secara keseluruhan.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai evaluasi perbaikan *journal bearing* pada turbin uap 4 MW, serta analisis terhadap parameter operasi sebelum dan sesudah dilakukan perbaikan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Kerusakan *journal bearing* pada turbin uap 4 MW ditandai dengan meningkatnya nilai getaran, kenaikan temperatur bearing, penurunan tekanan oli, serta bertambahnya clearance bearing akibat keausan lapisan babbitt. Kondisi tersebut menyebabkan rotor kehilangan kestabilan sehingga performa turbin mengalami penurunan dan meningkatkan risiko terjadinya gangguan operasi.
2. Proses perbaikan bearing dilakukan melalui beberapa tahapan, yaitu pembongkaran komponen, inspeksi visual, pengukuran clearance, penggantian *journal bearing*, flushing sistem pelumasan, penggantian oil filter, pemeriksaan oil cooler, pengisian oli pelumas baru, alignment rotor, serta commissioning. Seluruh tahapan tersebut bertujuan mengembalikan kondisi mekanis dan sistem pelumasan agar sesuai dengan spesifikasi operasi.
3. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa proses perbaikan berhasil meningkatkan performa turbin secara signifikan. Nilai getaran horizontal turun dari 6,6 mm/s menjadi 3,2 mm/s atau sekitar 41,88%,. Penurunan tersebut menunjukkan bahwa rotor kembali berputar secara stabil setelah proses penggantian bearing dan alignment selesai dilakukan.
4. Temperatur bearing mengalami penurunan sebesar 17°C, yaitu dari 64°C menjadi 47°C. Penurunan ini menunjukkan bahwa gesekan antara poros dan bearing telah berkurang akibat terbentuknya lapisan pelumas

- hidrodinamis yang lebih baik. Kondisi tersebut juga mengindikasikan bahwa sistem pendinginan dan pelumasan kembali bekerja secara optimal.
5. Sistem pelumasan mengalami peningkatan kinerja yang ditunjukkan oleh naiknya tekanan oli dari 2,3 bar menjadi 2,3 bar serta meningkatnya debit aliran oli dari 48 L/menit menjadi 61 L/menit. Peningkatan ini memperbaiki distribusi pelumas menuju bearing sehingga mampu mengurangi gesekan dan menjaga kestabilan operasi turbin.
 6. Hubungan antarparameter menunjukkan bahwa tekanan oli, temperatur bearing, dan tingkat getaran saling memengaruhi. Tekanan oli yang rendah menyebabkan lapisan pelumas menjadi tipis sehingga gesekan meningkat. Gesekan tersebut menaikkan temperatur bearing, mempercepat keausan, memperbesar clearance, dan akhirnya meningkatkan getaran rotor. Setelah sistem pelumasan diperbaiki, hubungan tersebut berubah menjadi lebih baik sehingga seluruh parameter kembali berada pada kondisi operasi normal.
 7. Secara keseluruhan, proses perbaikan journal bearing terbukti efektif dalam meningkatkan keandalan operasional turbin uap 4 MW. Keberhasilan tersebut terlihat dari membaiknya seluruh parameter operasi, menurunnya potensi gangguan mekanis, meningkatnya stabilitas putaran rotor, serta berkurangnya risiko shutdown tidak terencana. Dengan demikian, tujuan penelitian untuk mengevaluasi efektivitas perbaikan bearing terhadap keandalan operasional turbin uap 4 MW telah tercapai.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, beberapa saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut.

1. Perusahaan disarankan menerapkan program preventive maintenance secara konsisten dengan melakukan pemeriksaan berkala terhadap kondisi *journal bearing*, sistem pelumasan, temperatur bearing, tekanan oli, dan tingkat getaran untuk mendeteksi potensi kerusakan sejak dini.
2. Pemantauan kondisi (condition monitoring) menggunakan alat ukur vibrasi dan temperatur secara berkala perlu dilakukan untuk mengetahui

kecenderungan perubahan kondisi bearing sehingga tindakan perbaikan dapat dilakukan sebelum terjadi kerusakan yang lebih serius.

3. Kualitas oli pelumas harus selalu dijaga melalui penggantian oli dan oil filter sesuai jadwal pemeliharaan, serta pemeriksaan kebersihan sistem pelumasan agar distribusi oli menuju bearing tetap optimal.
4. Setiap pekerjaan pembongkaran dan pemasangan bearing harus diikuti dengan proses alignment rotor sesuai standar teknis untuk memastikan distribusi beban pada bearing tetap merata dan mengurangi kemungkinan terjadinya getaran akibat misalignment.
5. Penelitian selanjutnya disarankan menambahkan analisis kualitas oli (oil analysis), analisis spektrum getaran menggunakan metode Fast Fourier Transform (FFT), pengukuran ketebalan film pelumas, serta evaluasi umur sisa (remaining useful life) bearing sehingga hasil penelitian menjadi lebih komprehensif.
6. Penelitian berikutnya juga dapat membandingkan performa beberapa jenis bearing atau mengevaluasi pengaruh variasi beban operasi terhadap temperatur, getaran, dan sistem pelumasan untuk memperoleh informasi yang lebih lengkap mengenai faktor-faktor yang memengaruhi keandalan turbin uap.

DAFTAR PUSTAKA

- Boyce, M. P. (2011). *Gas turbine engineering handbook*. Elsevier.
- Cengel, Y. A., & Boles, M. A. (2002). Thermodynamics: an engineering approach. *Sea*, 1000(8862), 287–293.
- Kumar, A., Singhania, A., Sharma, A. K., Roy, R., & Mandal, B. K. (2017). Thermodynamic analysis of gas turbine power plant. *Int. J. Innov. Res. Eng. Manag*, 3, 648–654.
- Martelli, E., Alobaid, F., & Elsidio, C. (2021). Design optimization and dynamic simulation of steam cycle power plants: a review. *Frontiers in Energy Research*, 9, 676969.
- Moran, M. J., Shapiro, H. N., Boettner, D. B., & Bailey, M. B. (1992). *Fundamentals of Engineering Thermodynamics*, 804 pp. John Wiley, Hoboken, NJ.
- Okwuejunti, E., & Kehinde, B. (2015). *Operation and Maintenance Schedule of a Steam Turbine Plant: A Case Study of Egbin Thermal Power Station*.
- Pennacchi, P. (2022). Advanced technologies for steam turbine bearings. In *Advances in steam turbines for modern power plants* (pp. 383–448). Elsevier.
- Saputra, B. A., & Nurato, N. (n.d.). Performance analysis of a single-cylinder type steam turbine with a capacity of 3.5 mw using enthalpy drop method. *SINERGI*, 27(8), 319–326.
- Singh, P., Singh, S., Kumar, G., & Baweja, P. (n.d.). *Crises, Challenges and Solutions*.
- Vidlak, K., & Prochazkova, D. (2023). Methodology of Compiling A Steam Generator Maintenance Plan. *33rd European Safety and Reliability Conference*, 1477–1484.



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya
Bisa menjadi suri teladan di lingkungan
komunitas dan bangsa

MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI PENELITIAN & PENGEMBANGAN PIMPINAN PUSAT MUHAMMADIYAH
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
FAKULTAS TEKNIK

UMSU Terakreditasi Unggul Berdasarkan Keputusan Badan Akreditasi Nasional Perguruan Tinggi No. 174/SK/BAN-PT/Ak.Ppj/PT/III/2024
Pusat Administrasi: Jalan Mukhtar Basri No. 3 Medan 20238 Telp. (061) 6622400 - 66224567 Fax. (061) 6625474 - 6631003
<https://fatek.umsu.ac.id> fatek@umsu.ac.id [umsu.medan](#) [umsu.medan](#) [umsu.medan](#) [umsu.medan](#)

**PENENTUAN TUGAS AKHIR DAN PENGHUJUKAN
DOSEN PEMBIMBING**

Nomor : 2281/II.3AU/UMSU-07/F/2025

Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, berdasarkan rekomendasi Atas Nama Ketua Program Studi Teknik MESIN Pada Tanggal 10 November 2025 dengan ini Menetapkan :

Nama : RIZKY IRAWAN
Npm : 2207230057
Program Studi : TEKNIK MESIN
Semester : 7 (Tujuh)
Judul Tugas Akhir : EVALUASI PERBAIKAN BEARING PADA TURBIN UAP 4
MW UNTUK MENINGKATKAN KEANDALAN
OPERASIONAL .

Pembimbing : CHANDRA A SIREGAR ST.MT

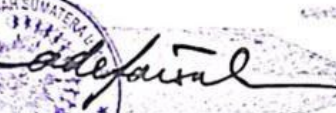
Dengan demikian diizinkan untuk menulis tugas akhir dengan ketentuan :

1. Bila judul Tugas Akhir kurang sesuai dapat diganti oleh Dosen Pembimbing setelah mendapat persetujuan dari Program Studi Teknik MESIN
2. Menulis Tugas Akhir dinyatakan batal setelah 1 (satu) Tahun dan tanggal yang telah ditetapkan.

Demikian surat penunjukan dosen Pembimbing dan menetapkan Judul Tugas Akhir ini dibuat untuk dapat dilaksanakan sebagaimana mestinya

Medan, 19 Jumadil Awal 1447 H
10 November 2025 M

Dekan


Ir. Ade Faisal, ST., M.Sc., Ph.D
NIDN: 0123097203



LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

Judul : Evaluasi Perbaikan Bearing Pada Turbin 4 MW Untuk
Keandalan Operasional
Nama : Rizky Irawan
NPM : 2207230057
Dosen Pembimbing : Chandra A Siregar, S.T., M.T.

No	Hari/Tanggal	Kegiatan	Paraf
1.	21/12-25	Perbaiki bab I Perbaiki format	f
2.	30/1-2026	perbaiki bab II, III	f
3.	4/2-2026	ACC Simpuro	f
4.	25/5-2026	perbaiki bab IV	f
5.	12/6-2026	Abstrak dan kesimpulan	f
6.	17/7-2026	ACC. Simhas	f
		ACC Sidaus	f

Dosen Pembimbing



Chandra A Siregar, S.T., M.T.

**DAFTAR HADIR SEMINAR TUGAS AKHIR JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK - UMSU
TAHUN AKADEMIK 2025-2026**

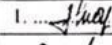
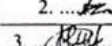
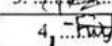
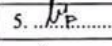
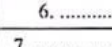
Nama : Rizky Irawan
NPM : 2207230057
Judul Tugas Akhir : Evaluasi Perbaikan Bearing Pada Turbin 4 MW Untuk Keandalan Operasional

TANDA TANGAN TIM DOSEN PENGUJI:

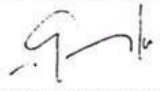
Pembimbing - I : Chandra Amirsyah P. Siregar, S.T., M.T.

Pembanding - I : Dr. Sudirman Lubis, ST, MT

Pembanding - II : Ahmad Marabdi Siregar, S.T., M.T.

No	NPM	Nama Mahasiswa	Tanda Tangan
1	2207230142	Wibry Pygar N	1. 
2	2207230142	KHARUL FAHMI PURBA	2. 
3	2207230102	ABDUL FAHRIZAL	3. 
4	2207230041	MUHAMMAD AIFANNY IRAWAN	4. 
5	2207230091	LUTHFI BARRUT TAMAM	5. 
6			6.
7			7.
8			8.
9			9.
10			10.

Medan, 28 Juli 2026
Ketua Prodi, Teknik Mesin


(.....)

**DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**

Nama : Rizky Irawan
NPM : 2207230057
Judul Tugas Akhir : Evaluasi Perbaikan Bearing Pada Turbin 4 MW Untuk Keandalan Operasional
Dosen Pembimbing - I : Chandra Amirsyah P. Siregar, S.T., M.T.
Dosen Pembimbing - I : Dr. Sudirman Lubis, ST, MT
Dosen Pembimbing - II : Ahmad Marabdi Siregar, S.T., M.T.

KEPUTUSAN / REKOMENDASI HASIL EVALUASI:

- ☐ 1. Baik dapat diterima ke sidang sarjana (collogium)
- ☐ 2. Dapat mengikuti sidang sarjana (collogium) setelah selesai melaksanakan perbaikan
- ☐ 3. Harus mengikuti seminar kembali

Catatan Perbaikan / Temuan Penguji :

- *Perbaikan bahan paku.*

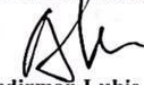
Diketahui:

Ketua Prodi. Teknik Mesin


(.....)

Medan, 28 Juli 2026

Dosen Pembimbing - I


Dr. Sudirman Lubis, ST, MT

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



A. DATA PRIBADI

Nama : Rizky Irawan
Alamat : Menteng VII jalan Kesehatan No.36, Kota Medan,
Sumatera Utara
Tempat, Tanggal Lahir : Medan, 27 Mei 2004
Jenis Kelamin : Laki-Laki
Umur : 22 Tahun
Agama : Islam
Status : Belum Menikah
Email : rizkyirawann27@gmail.com
Kewarganegaraan : Indonesia
No. Telepon 083817582067
Moto Hidup : Keberhasilan Bukanlah Milik Orang Pintar, Tapi
Keberhasilan Adalah Milik Mereka Yang Berusaha

B. RIWAYAT PENDIDIKAN

Tahun 2010 – 2016 SD N 060911 Medan
Tahun 2016 – 2019 SMP N 23 Medan
Tahun 2019 – 2022 SMK N 4 Medan
Tahun 2022 – 2026 Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara