

TUGAS AKHIR

STUDI PERBANDINGAN TINGKAT GETARAN BEARING TURBIN UAP SEBELUM DAN SESUDAH OVERHAUL

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

Disusun Oleh:

M. RIFKIANDA PUTRA
2207230060



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

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

HALAMAN PENGESAHAN

Laporan Penelitian Tugas Akhir ini diajukan oleh:

NAMA : M. Rifkianda Putra
NPM : 2207230060
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Tugas Akhir : Studi Perbandingan Tingkat getaran bearing turbin uap
sebelum dan sesudah overhaul
Bidang Ilmu : Koontruksi, Material dan Manufaktur

Telah berhasil dihadapkan 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, 13 Agustus 2026

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Penguji I



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

Dosen Penguji II



Arya Rudi Nasution, 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 TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama Lengkap : M. Rifkianda Putra
NPM : 2207230060
Tempat/Tanggal Lahir : Pulau Gambar, 26 September 2004
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Mesin

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

“STUDI PERBANDINGAN TINGKAT GETARAN BEARING TURBIN UAP SEBELUM DAN SESUDAH OVERHAUL”

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 hakikatnya bukan merupakan karya tulis akhir secara orisinil dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia proses oleh tim fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/ kerjasama saya.

Dengan surat pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan apapun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di program studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 13 Agustus 2026



M. Rifkianda Putra

ABSTRAK

Turbin uap merupakan mesin yang berperan penting dalam proses pembangkitan tenaga di industri. Salah satu komponen utama yang memengaruhi keandalan turbin adalah bearing, karena berfungsi menopang poros rotor selama beroperasi. Kerusakan atau keausan bearing dapat meningkatkan tingkat getaran yang berdampak pada penurunan kinerja turbin. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan tingkat getaran bearing turbin uap sebelum dan sesudah overhaul serta mengetahui pengaruh overhaul terhadap penurunan tingkat getaran. Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan pendekatan komparatif. Data diperoleh melalui pengukuran getaran menggunakan vibration meter pada dua bearing dengan arah pengukuran horizontal, vertikal, dan aksial. Data kemudian dianalisis secara deskriptif dengan membandingkan nilai getaran sebelum dan sesudah overhaul. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai rata-rata getaran sebelum overhaul sebesar 4,4 mm/s, sedangkan sesudah overhaul menurun menjadi 2,3 mm/s. Yang menunjukkan bahwa proses overhaul berhasil meningkatkan kondisi mekanis bearing dan kestabilan putaran poros turbin. Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa overhaul berpengaruh positif dalam menurunkan tingkat getaran bearing turbin uap. Pengukuran getaran dapat digunakan sebagai indikator untuk mengevaluasi efektivitas pemeliharaan dan mendukung penerapan predictive maintenance pada turbin uap.

Kata Kunci: Turbin uap, bearing, getaran, overhaul, predictive maintenance.

ABSTRACT

A steam turbine is an essential machine used in industrial power generation systems. One of the main components affecting turbine reliability is the bearing, which supports the rotor shaft during operation. Bearing wear or damage can increase vibration levels and reduce turbine performance. This study aims to compare the vibration levels of steam turbine bearings before and after an overhaul and to determine the effect of the overhaul on vibration reduction. This research employed a quantitative method with a comparative approach. Vibration data were collected using a vibration meter at two bearing locations in the horizontal, vertical, and axial directions. The data were analyzed descriptively by comparing vibration levels before and after the overhaul. The results showed that the average bearing vibration decreased from 4,4 mm/s before the overhaul to 2,3 mm/s, indicating that the overhaul successfully improved the mechanical condition of the bearings and the stability of the turbine shaft rotation. It can be concluded that the overhaul had a positive effect on reducing steam turbine bearing vibration. Vibration measurement can be used as an indicator to evaluate maintenance effectiveness and to support the implementation of predictive maintenance on steam turbines.

Keywords: Steam turbine, bearing, vibration, overhaul, predictive maintenance.

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum warahmatullahi wabarakatuh

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan 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 “Studi Perbandingan Tingkat Getaran Bearing Turbin Uap Sebelum Dan Sesudah Overhaul”.

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

1. Bapak Chandra A Siregar, S.T., M.T. Selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir 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 Program Studi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Bapak Ir. Ade Faisal, S.T., M.Sc., Ph.D., Selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu keteknik mesinan kepada penulis.
5. Kedua orang tua saya, Terima kasih penulis ucapkan atas segala pengorbanan dan ketulusan yang diberikan. Meskipun ayah dan ibu tidak sempat merasakan pendidikan dibangku perkuliahan, namun selalu senantiasa memberikan yang terbaik, tak kenal lelah mendoakan, mengusahakan, memberikan dukungan baik secara moral maupun finansial, serta memprioritaskan pendidikan dan kebahagiaan anak-anaknya. Perjalanan hidup kita sebagai satu keluarga utuh memang tidak mudah, tetapi segala hal yang telah dilalui memberikan penulis pelajaran yang sangat berharga tentang arti menjadi seorang laki-laki yang kuat, bertanggung jawab, selalu berjuang dan mandiri. Semoga dengan adanya skripsi ini dapat membuat ayah dan ibu lebih bangga karena telah berhasil menjadikan anak laki-lakinya ini menyandang gelar sarjana seperti yang

diharapkan. Besar harapan penulis semoga ayah dan ibu selalu sehat, Panjang umur, dan bisa menyaksikan keberhasilan lainnya yang akan penulis raih dimasa yang akan datang.

6. Bapak/Ibu Staf Administrasi di biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
7. Rekan - rekan seperjuangan, Maghdafiqia Arya Pradifta, Ezra Tri Wira Pranata, Rizky Irawan terimakasih telah kebersamaan penulis dari maba hingga sekarang kita lalui sampai ke tahap skripsi ini.
8. Rekan - rekan seperjuangan kelas A1 Pagi 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 berharap 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 mesin.

Medan, 13 Agustus 2026

Penulis



M. Rifkianda Putra

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	i
ABSTRAK	ii
<i>ABSTRACT</i>	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
BAB 1	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Ruang Lingkup Penelitian	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB 2	5
TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Gambaran Umum Turbin Uap	5
2.2 Prinsip Kerja Turbin Uap	8
2.3 Klasifikasi Turbin Uap	9
2.4 Bagian Utama Turbin Uap	12
2.5 Instrumental Turbin Uap	22
2.5.1 Eksentritas	22
2.5.2 Vibrasi	23
2.6 Pengawasan dan Diagnose Kondisi Mesin	24
2.7 Predictive Maintenance	25
2.8 Manfaat dan Tujuan Predictive Maintenance	26
2.9 Pengertian Vibrasi	29
2.10 Klasifikasi Getaran	30
2.11 Parameter Getaran	31
2.12 Pengertian Vibrasimeter	31
2.13 Prinsip Kerja Vibrasimeter	33
2.14 Jenis Sensor Getaran Dalam Vibrasi	33
2.15 Parameter Vibrasi Yang diukur	33
2.16 Pengertian Overhaul	34
2.16.1 Tujuan Overhaul	35
2.16.2 Tahapan Pelaksanaan Overhaul	36
2.16.3 Overhaul Pada Bearing Turbin Uap	37
2.16.4 Faktor-Faktor Yang Diperiksa Saat Overhaul	39
2.17 Jenis Sensor Getaran	41
2.17.1 Sensor Displacement	41
2.17.2 Sensor Velocity	42
2.17.3 Sensor Accelometer	43
2.17.4 Sensor Piezoelectric	43
2.17.5 Sensor Velocity Seismik	44
2.17.6 Perbandingan Jenis Sensor Getaran	44
2.17.7 Pemilihan Sensor Untuk Bearing Turbin Uap	44
2.17.8 Pengaruh Posisi Sensor Terhadap Hasil Pengukuran	45

2.17.9 Sensor Getaran Dalam Condition Monitoring	45
2.17.10 Hubungan Sensor Dengan Penelitian	46
BAB 3	47
METODOLOGI PENELITIAN	47
3.1 Tempat dan Waktu	47
3.1.1 Tempat Penelitian	47
3.1.2 Waktu Penelitian	47
3.2 Bahan dan Alat	47
3.2.1 Bahan Penelitian	47
3.2.2 Alat Penelitian	48
3.3 Diagram Alir Penelitian	50
3.4 Rancangan Alat Penelitian	51
3.5 Prosedur Penelitian	51
3.6 Variabel Penelitian	53
BAB 4	54
HASIL DAN PEMBAHASAN	54
4.1 Hasil Pengukuran Tingkat Getaran Bearing Sebelum Overhaul	54
4.1.1 Data Getaran Bearing Turbin Uap Sebelum Overhaul	54
4.2 Pembahasan hasil Pengukuran Getaran Bearing Sesudah Overhaul	58
4.2.1 Data Getaran Bearing Turbin Uap Sesudah Overhaul	58
4.3 Mengetahui Perbandingan Tingkat Getaran Bearing Akibat Overhaul	63
4.4 Pembahasan	65
4.4.1 Analisis Kondisi Getaran Bearing Sebelum Overhaul	65
4.4.2 Analisis Kondisi Getaran Bearing Sesudah Overhaul	66
4.4.3 Perbandingan Tingkat Getaran Sebelum dan Sesudah Overhaul	66
4.4.4 Evaluasi Berdasarkan Standar ISO 10816	67
4.4.5 Implikasi Hasil Penelitian Terhadap Sistem Pemeliharaan	67
BAB 5	69
KESIMPULAN DAN SARAN	69
5.1 Kesimpulan	69
5.2 Saran	70
DAFTAR PUSTAKA	
Lampiran 1. SK Pembimbing	
Lampiran 2. Lembar Asistensi	
LAMPIRAN 3. DAFTAR RIWAYAT HIDUP	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Batas suhu bearing	19
Tabel 2.2 Perbandingan Jenis Sensor Getaran	44
Tabel 3.1 Jadwal dan kegiatan waktu penelitian	47
Tabel 4.1 Data Getaran Bearing Turbin Uap Sebelum Overhaul	58
Tabel 4.2 Data Getaran Bearing Turbin Uap Sesudah Overhaul	64
Tabel 4.3 Perbandingan Getaran Bearing Sebelum dan Sesudah Overhaul	67

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Bagian utama turbin uap	7
Gambar 2.2 Bagian- Bagian Turbin uap	12
Gambar 2.3 Casing turbin	13
Gambar 2.4 Rotor dan Wheel	13
Gambar 2.5 Governur	14
Gambar 2.6 Steam Chest	14
Gambar 2.7 Coupling	15
Gambar 2.8 Nozzle	15
Gambar 2.9 Guide Ring	16
Gambar 2.10 Carbon Ring dan Spring	16
Gambar 2.11 Spacer Carbon Ring	17
Gambar 2.12 Buffel Oil	17
Gambar 2.13 Journal Bearing	18
Gambar 2.14 Thrust Bearing	18
Gambar 2.15 Lay Shaft	19
Gambar 2.16 Safety Valve Turbin	20
Gambar 2.17 Steam Valve	21
Gambar 2.18 Sistem Pelumasan	21
Gambar 2.19 Eksentrilitas	23
Gambar 2.20 Peletakan Sensor Vibrasi	23
Gambar 2.21 Proses Analisa Vibrasi	29
Gambar 2.22 Alat Ukur Vibrasimeter	32
Gambar 3.1 Vibrasimeter	48
Gambar 3.2 Laptop	48
Gambar 3.3 Handphone	49
Gambar 3.4 Sigmat	49
Gambar 3.5 Dial	49
Gambar 3.6 Diagram Alir Penelitian	50
Gambar 3.7 Diagram Rancang Penelitian	51
Gambar 4.1 Pengukuran Vibrasi Bearing 1 Horizontal A	54
Gambar 4.2 Pengukuran Vibrasi Bearing 1 Horizontal B	54
Gambar 4.3 Pengukuran Vibrasi Bearing 1 Vertikal	55
Gambar 4.4 Pengukuran Vibrasi Bearing 1 Aksial	55
Gambar 4.5 Pengukuran Vibrasi Bearing 2 Horizontal A	56
Gambar 4.6 Pengukuran Vibrasi Bearing 2 Horizontal B	56
Gambar 4.7 Pengukuran Vibrasi Bearing 2 Arah Vertikal	57
Gambar 4.8 Pengukuran Vibrasi Bearing 2 Arah Aksial	57
Gambar 4.9 Diagram Sebelum overhaul	59
Gambar 4.10 Arah Pengukuran Getaran Bearing Turbin Uap	60
Gambar 4.11 Pengukuran Vibrasi Bearing 1 Horizontal A	60
Gambar 4.12 Pengukuran Vibrasi Bearing 1 Horizontal B	61
Gambar 4.13 Pengukuran Vibrasi Bearing 1 Vertikal	61
Gambar 4.14 Pengukuran Vibrasi Bearing 1 Aksial	62
Gambar 4.15 Pengukuran Vibrasi Bearing 2 Horizontal A	62
Gambar 4.16 Pengukuran Vibrasi Bearing 2 Horizontal B	63

Gambar 4.17 Pengukuran Vibrasi Bearing 2 Vertikal	63
Gambar 4.18 Pengukuran Vibrasi Bearing 2 Aksial	64
Gambar 4.14 Diagram Sesudah Overhaul	65
Gambar 4.15 Diagram Getaran Sebelum & Sesudah Overhaul	68

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Turbin uap adalah sebuah alat penggerak awal yang mengubah energi potensial dari uap menjadi energi kinetik, yang kemudian dialihkan menjadi energi mekanis dalam bentuk rotasi poros turbin. Poros turbin, baik secara langsung maupun dengan bantuan roda gigi reduksi, terhubung dengan mekanisme yang perlu digerakkan. Bergantung pada jenis mekanisme yang digunakan, turbin uap dapat diterapkan di berbagai sektor seperti industri, pembangkit listrik, dan transportasi. Proses konversi energi potensial menjadi energi mekanis, yang berupa rotasi poros, dilakukan dengan berbagai metode.

Pada dasarnya, turbin uap memiliki dua komponen utama, yaitu stator dan rotor, yang merupakan bagian penting dari turbin. Selain itu, terdapat juga komponen lain yang mendukungnya seperti bearing (bantalan), kopling, dan sistem tambahan lainnya, sehingga kinerja turbin dapat ditingkatkan. Turbin ini mengubah energi kinetik dari fluida yang kerjanya meningkat akibat penambahan energi panas (Emeraldo Rafi Ramadhan 1, 2023).

Keandalan turbin uap sangat dipengaruhi oleh kondisi komponen mekaniknya, terutama system bearing yang berperan sebagai pendukung rotasi poros. Bearing memiliki fungsi vital dalam menjaga stabilitas rotasi rotor agar operasional turbin dapat berjalan dengan efisien, aman, dan berkelanjutan. dapat menghasilkan peningkatan getaran yang berdampak pada performa turbin secara keseluruhan (Cahyono et al., 2021).

Getaran merupakan salah satu parameter paling penting dalam pemantauan kondisi turbin uap. Analisis getaran sering digunakan sebagai indikator awal terjadinya kerusakan pada komponen rotating, termasuk bearing. Peningkatan getaran pada bearing dapat disebabkan oleh berbagai faktor, seperti pelumasan yang tidak optimal, misalignment, unbalance, ausnya permukaan bearing, serta kontaminasi oli. Jika tidak ditangani, peningkatan getaran dapat mempercepat kerusakan komponen, menurunkan efisiensi kerja turbin, bahkan menyebabkan kegagalan operasi yang berbiaya tinggi (Apriandi & Mursadin, 2023). Dalam dunia industri, turbin uap menjalani perawatan rutin salah satunya melalui proses

overhaul. Overhaul adalah kegiatan yang melibatkan pembongkaran, pemeriksaan, penggantian, dan penyesuaian kembali komponen penting turbin, termasuk bantalan (bearing). Tujuan adanya overhaul adalah untuk mengembalikan kondisi mekanis turbin agar mendekati keadaan saat pertama kali dioperasikan, sehingga mesin dapat beroperasi dengan baik dan aman. Bahwa overhaul dapat secara signifikan mengurangi tingkat getaran pada thrust bearing karena berkurangnya keausan pada permukaan bantalan (bearing) (Musafa & Sulistiyo, 2024).

Namun, efektivitas overhaul tidak selalu sama pada setiap unit turbin. Beberapa kasus menunjukkan bahwa meskipun overhaul telah dilakukan, tingkat getaran tidak mengalami penurunan sesuai harapan. Hal ini dapat dipengaruhi oleh faktor penyetelan ulang (alignment), kualitas pelumasan, pemasangan bearing, kondisi poros, hingga kualitas komponen pengganti. (Febriansyah et al. 2020) menjelaskan bahwa perubahan kelurusan poros akibat pemuatan panas dapat menimbulkan misalignment yang memengaruhi tingkat getaran setelah mesin dioperasikan kembali.

Oleh karena itu, penting untuk melakukan studi perbandingan tingkat getaran bearing turbin uap sebelum dan sesudah overhaul sebagai dasar evaluasi perawatan. Dengan membandingkan data getaran, dapat diketahui apakah overhaul berhasil mengembalikan kondisi mekanis bearing dan meningkatkan performa turbin. Analisis ini juga membantu identifikasi sumber getaran dominan seperti *unbalance*, *misalignment*, atau kerusakan bearing berdasarkan pola spektrum getaran (Kulo et al., 2023).

Penelitian mengenai kondisi getaran bearing setelah overhaul telah dilakukan oleh beberapa peneliti, namun fokus pada komparasi langsung antara kondisi *pre-overhaul* dan *post-overhaul* pada turbin uap masih terbatas, terutama di industri seperti pembangkit listrik, pabrik kelapa sawit, dan industri proses lainnya. Kondisi operasional yang berbeda antar industri, variasi beban kerja, serta metode perawatan membuat hasil penelitian sebelumnya tidak dapat langsung diterapkan tanpa pengujian lebih lanjut. Berdasarkan pentingnya pemantauan getaran dalam menjaga keandalan operasi turbin uap, serta perlunya evaluasi efektivitas overhaul, maka penelitian ini dilakukan untuk menganalisis perubahan tingkat getaran bearing turbin uap sebelum dan sesudah overhaul. Hasil penelitian ini diharapkan

memberikan gambaran nyata tentang pengaruh overhaul terhadap kestabilan operasi bearing dan kinerja turbin secara keseluruhan (Perwira et al., 2024).

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang diambil pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana Tingkat getaran bearing turbin uap sebelum overhaul?
2. Bagaimana Tingkat getaran bearing turbin uap sesudah overhaul
3. Seberapa besar perubahan tingkat getaran setelah dilakukan getaran

1.3 Ruang Lingkup Penelitian

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

1. Objek penelitian terbatas pada bearing yang digunakan pada turbin uap. Penelitian tidak mencakup perangkat bantu mesin lainnya.
2. Fokus analisis hanya pada bearing utama yaitu, aksial, radial, dan horizontal sebelum dan sesudah dilakukannya overhaul
3. Data penelitian diperoleh melalui observasi langsung di lapangan, dokumentasi perawatan, manual book turbin uap, serta referensi jurnal. Penelitian ini tidak melakukan pengujian laboratorium yang bersifat eksperimen terhadap bearing turbin uap.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini sebagai berikut:

1. Mengetahui tingkat getaran bearing turbin uap sebelum dilakukan overhaul.
2. Mengetahui tingkat getaran bearing turbin uap setelah dilakukan overhaul.
3. Mengetahui perubahan Tingkat getaran bearing akibat proses overhaul.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini diharapkan dapat meenambah wawasan dan pengetahuan dibidang turbin uap, khususnya mengenai sistem kerja dan perawatan turbin. Hasil penelitian ini juga dapat dijadikan sebagai referensi atau bahan acuan bagi mahasiswa dan penelitian lain yang ingin mengkaji lebih dalam mengenai proses overhaul dan perawatan bearing pada turbin uap.

2. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat membantu para teknisi, mekanik, serta operator turbin dalam memahami langkah-langkah prosedur overhaul yang benar dan sesuai standar dengan standar pabrikan. Dengan demikian, proses perawatan dapat dilakukan dengan lebih efisien, aman, serta mampu mencegah terjadinya kerusakan yang lebih serius pada bearing maupun turbin uap.
3. Penelitian ini dapat memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai kondisi komponen-komponen pada turbin uap sebelum dan sesudah dilakukan overhaul. Dengan adanya analisis ini, diharapkan pihak manajemen turbin uap dapat menyusun jadwal perawatan yang lebih terencana, serta mengambil langkah-langkah preventif untuk meningkatkan efisiensi dan keandalan turbin uap secara keseluruhan.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gambaran Umum Turbin Uap

Turbin uap adalah suatu penggerak mula yang mengubah energi potensial uap menjadi energi kinetik ini selanjutnya diubah menjadi energi mekanis dalam bentuk putaran poros turbin. Poros turbin, langsung atau dengan bantuan roda gigi reduksi, dihubungkan dengan mekanisme yang digerakkan. Tergantung pada jenis mekanisme yang digerakkan, turbin uap dapat digunakan pada berbagai bidang industri, untuk pembangkit listrik, dan transportasi (Situmorang et al., 2023).

Dalam sistem pembangkit tenaga berbasis uap, turbin merupakan komponen yang sangat vital karena berfungsi mengubah energi termal dari uap menjadi energi mekanis pada poros, yang kemudian dikonversi menjadi energi listrik melalui generator. Agar dapat bekerja dengan baik, turbin uap harus berputar pada kondisi yang stabil dengan getaran seminimal mungkin. Namun, pada praktiknya, selalu terdapat vibrasi atau getaran yang muncul akibat interaksi antara komponen mekanis dan aliran fluida kerja.

Getaran pada turbin uap dapat memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kinerja maupun keandalan mesin. Getaran yang terjadi pada tingkat rendah dan masih dalam batas standar umumnya tidak berbahaya, bahkan dapat menjadi indikator normal dari kondisi operasi. Akan tetapi, apabila nilai vibrasi meningkat dan melebihi standar yang ditetapkan, maka kondisi ini dapat menimbulkan berbagai permasalahan serius.

Salah satu pengaruh utama getaran adalah penurunan efisiensi kinerja turbin. Energi yang seharusnya dikonversi menjadi tenaga mekanis justru hilang dalam bentuk osilasi mekanik dan panas akibat gesekan. Hal ini menyebabkan daya yang dihasilkan turbin lebih rendah dibandingkan dengan kondisi idealnya. Selain itu, vibrasi berlebih dapat mempercepat kerusakan mekanis pada komponen penting, seperti bearing, rotor, dan sudu turbin. Jika getaran berlangsung dalam jangka panjang, kerusakan yang ditimbulkan bisa bersifat permanen dan membutuhkan biaya perbaikan yang sangat besar (Ohoirenan et al., 2022).

Turbin uap pada dasarnya terdiri atas beberapa komponen utama yang saling berhubungan dalam menghasilkan dan mempertahankan putaran. Komponen

tersebut antara lain *casing*, rotor, poros, sudu tetap, sudu gerak, bearing, sistem *seal*, sistem pelumasan, serta katup pengatur uap. *Casing* berfungsi sebagai rumah dan pelindung komponen internal turbin sekaligus membantu mengarahkan aliran uap. Rotor dan poros merupakan bagian yang berputar dan menerima energi dari aliran uap. Sudu tetap berfungsi mengarahkan dan mempercepat aliran uap, sedangkan sudu gerak menerima energi dari aliran uap untuk menghasilkan putaran. Bearing berfungsi menopang poros agar dapat berputar dengan stabil dan menjaga posisi rotor selama turbin beroperasi.

Bearing merupakan salah satu komponen yang sangat penting dalam sistem turbin uap karena kondisi bearing berhubungan langsung dengan kestabilan rotor. Bearing harus mampu menopang beban rotor dan mempertahankan posisi poros selama turbin beroperasi. Apabila terjadi keausan, *clearance* yang tidak sesuai, *misalignment*, masalah pelumasan, atau kerusakan pada bearing, maka kestabilan rotor dapat terganggu dan tingkat getaran dapat meningkat. Oleh sebab itu, kondisi bearing perlu dipantau secara berkala melalui pengukuran getaran sebagai bagian dari *condition monitoring*.

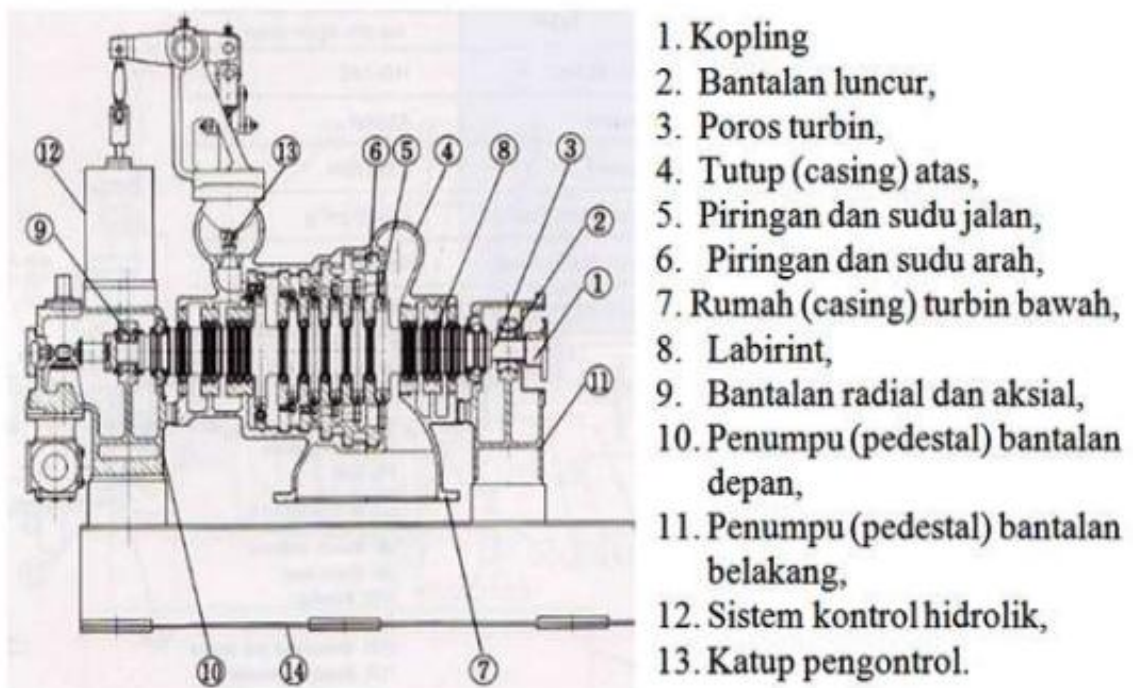
Turbin uap juga memiliki sistem pelumasan yang berfungsi memberikan pelumas kepada bearing dan bagian-bagian yang membutuhkan pelumasan. Pelumasan diperlukan untuk mengurangi gesekan, mengurangi panas, dan membantu menjaga kondisi permukaan komponen yang bergerak. Gangguan pada sistem pelumasan dapat menyebabkan peningkatan gesekan dan temperatur serta dapat memengaruhi kondisi bearing. Oleh karena itu, pemeriksaan sistem pelumasan menjadi salah satu bagian penting dalam kegiatan pemeliharaan dan overhaul turbin.

Selain bearing dan sistem pelumasan, sistem *seal* juga memiliki peranan penting dalam pengoperasian turbin. *Seal* digunakan untuk mengurangi kebocoran uap atau masuknya udara pada bagian tertentu dari turbin. Kondisi *seal* yang tidak baik dapat menyebabkan kehilangan uap dan memengaruhi efisiensi serta kestabilan operasi turbin. Dengan demikian, pemeriksaan berbagai komponen turbin secara menyeluruh diperlukan untuk mempertahankan kinerja dan keandalan mesin.

Dalam pengoperasiannya, turbin uap menghasilkan getaran karena adanya bagian-bagian yang berputar. Getaran pada tingkat tertentu merupakan kondisi yang

umum terjadi pada mesin berputar, tetapi peningkatan getaran yang tidak normal dapat menjadi indikasi adanya masalah mekanis. Beberapa faktor yang dapat memengaruhi tingkat getaran antara lain ketidakseimbangan rotor (*unbalance*), *misalignment*, kondisi bearing, *clearance*, kelonggaran komponen, serta kondisi pelumasan. Oleh karena itu, pengukuran getaran pada bearing dapat digunakan untuk mengetahui perubahan kondisi sistem rotor-bearing.

Pengawasan kondisi turbin dapat dilakukan menggunakan berbagai parameter, salah satunya adalah vibrasi. Pengukuran vibrasi dapat dilakukan menggunakan alat ukur seperti vibrasimeter dengan parameter kecepatan getaran dalam satuan mm/s RMS. Pada penelitian ini, pengukuran dilakukan pada bearing 1 dan bearing 2 dengan arah horizontal, vertikal, dan aksial. Data tersebut kemudian digunakan untuk membandingkan tingkat getaran sebelum dan sesudah dilakukan overhaul.



Gambar 2.1 Bagian Utama Turbin Uap (Gordon, 2021)

2.2 Prinsip Kerja Turbin Uap

Prinsip Kerja turbin uap bekerja berdasarkan prinsip siklus *rankine*, yaitu suatu siklus termodinamika ideal yang menggambarkan proses konversi panas menjadi kerja melalui media kerja berupa uap air. Proses kerja turbin uap diawali dengan pemanasan air di dalam *boiler* hingga menghasilkan uap bertekanan dan bertemperatur tinggi. Uap bertekanan tinggi kemudian dialirkan menuju turbin dan melewati *nozzle*, terjadi perubahan energi tekanan menjadi energi kinetik, Secara umum terdiri dari beberapa tahapan sebagai berikut (Prabowo, 2021) .

a. Pemanasan Air (Proses *Isobarik* di *Boiler*)

Air yang telah dipompa dimasukkan ke dalam *boiler*, Dimana energi panas dari pembakaran bahan bakar digunakan untuk memanaskan air hingga menjadi uap jenuh atau uap super panas (*superheated steam*).

b. Ekspansi Uap di Turbin (Proses *Isentropik*)

Uap yang bertekanan dan bersuhu tinggi diarahkan ke sudu-sudu turbin melalui nozel, Dimana terjadi ekspansi dan percepatan aliran uap. Energi kinetik dari uap akan di terima oleh sudu turbin sehingga menyebabkan rotor berputar.

c. Kondensasi Uap (Proses *Isobarik* di Kondensor).

Setelah keluar dari turbin, uap kehilangan energi dan berubah menjadi uap tekanan rendah. Uap ini kemudian dikondensasikan kembali menjadi aircair di dalam kondensor.

d. Pembakaran Limbah Sawit di Boiler

Fiber dan shell dibakar dalam boiler untuk menghasilkan uap bertekanan tinggi.

e. Uap Masuk ke Turbin

Uap dialirkan ke turbin untuk memutar rotor melalui nozel dan sudu, menghasilkan energi mekanik.

f. Penggerakan Generator atau Peralatan

Rotor turbin dihubungkan ke generator atau ke system transmisi untuk menggerakkan peralatan produksi.

g. Pemanfaatan Uap Buang

Uap bekas dari turbin digunakan untuk proses pemanasan atau dibuang ke kondensor/kondensat tank.

2.3 Klasifikasi Turbin Uap

Turbin Uap diklasifikasikan menjadi berbagai kategori yang berbeda berdasarkan pada konstruksinya, prinsip kerjanya dan menurut proses penurunan tekanan uap sebagai berikut:

1. Klasifikasi Turbin Berdasarkan Prinsip kerjanya

a. Turbin Impuls.

Turbin Impuls atau Turbin tahap Impuls adalah Turbin sederhana bermotor satu atau banyak (gabungan) yang mempunyai sudu-sudu pada rotor itu. Sudu biasanya simetris dan mempunyai sudut masuk dan sudut keluar.

- 1) Turbin satu tahap
- 2) Turbin impuls gabungan
- 3) Turbin impuls gabungan kecepatan

Ciri-ciri dari turbin impuls antara lain:

- 1) Proses pengembangan uap / penurunan tekanan seluruhnya terjadi pada sudu diam / nosel.
- 2) Akibat tekanan dalam turbin sama sehingga disebut dengan tekanan rata.

b. Turbin Reaksi

Turbin Reaksi mempunyai tiga tahap, yaitu terdiri dari masing-masingnya terdiri dari baris sudu tetap dan dua baris sudu gerak. Sudu bergerak turbin reaksi dapat dibedakan dengan mudah dari sudu impuls karena tidak simetris, karena berfungsi sebagai nosel maka bentuknya sama dengan sudu tetap walaupun arah lengkungannya berlawanan.

- 1) Ciri-ciri turbin ini adalah: Penurunan tekanan uap Sebagian terjadi di sudu gerak.
- 2) Adanya perbedaan tekanan di dalam turbin sehingga disebut tekanan bertingkat.

2. Klasifikasi turbin uap berdasarkan pada tingkat penurunan tekanan dalam turbin.

a. Turbin Tunggal (Single Stage)

Dengan kecepatan satu tingkat atau lebih turbin ini cocok untuk daya kecil, misalnya penggerak kompressor, blower dan lain-lain.

b. Turbin Bertingkat (*Multistage*)

Disini sudu-sudu turbin dibuat bertingkat, biasanya cocok untuk daya besar. Pada turbin bertingkat terdapat deretan sudu 2 atau lebih. Sehingga turbin tersebut terjadi distribusi kecepatan / tekanan. Klasifikasi turbin berdasarkan proses penurunan tekanan uap.

c. Turbin Kondensasi

Pada turbin kondensasi, uap yang keluar dari turbin diarahkan menuju kondensor untuk mengalami proses kondensasi menjadi air. Tekanan uap keluar dibuat rendah sehingga ekspansi uap dapat dimanfaatkan secara maksimal untuk menghasilkan tenaga.

Jenis turbin ini banyak digunakan pada sistem pembangkit listrik karena dapat menghasilkan daya yang relatif besar dari energi uap.

d. Turbin Tekanan Lawan

Apabila tekanan sisi keluar turbin masih besar dari 1 atm sehingga masih dapat dimanfaatkan untuk menggerakkan turbin lain.

e. Turbin Ekstraksi

Turbin ekstraksi memiliki titik pengambilan uap pada salah satu atau beberapa tingkat turbin. Sebagian uap diambil untuk digunakan pada kebutuhan tertentu, sedangkan sebagian lainnya melanjutkan proses ekspansi hingga tingkat berikutnya.

Sistem ekstraksi memungkinkan energi uap dimanfaatkan untuk kebutuhan pembangkit sekaligus kebutuhan proses atau pemanasan.

3. Klasifikasi Turbin Uap berdasarkan arah aliran uap

a. Turbin Aksial

Pada turbin aksial, aliran uap bergerak sejajar dengan sumbu poros turbin. Jenis ini merupakan salah satu konfigurasi yang paling banyak digunakan pada turbin uap karena dapat digunakan pada berbagai kapasitas dan kondisi operasi. Turbin radial, Yaitu turbin yang uapnya mengalir dalam arah yang tegak lurus terhadap sumbu turbin.

b. Turbin Radial

Pada turbin radial, aliran uap bergerak dengan arah yang relatif tegak lurus terhadap sumbu poros. Turbin radial dapat digunakan pada aplikasi tertentu, terutama ketika karakteristik aliran dan kondisi operasi membutuhkan konfigurasi tersebut.

4. Klasifikasi Turbin Uap berdasarkan metode pengaturan

- a. Turbin dengan pengaturan pencekikan (*throttling*), dalam hal ini uap panas lanjut yang keluar dari ketel masuk melalui satu atau lebih katup pencekik yang dioperasikan serempak.
- b. Turbin dengan pengaturan nozel yang uap segarnya masuk melalui satu atau dua lebih pengatur pembuka yang berurutan.
- c. Turbin dengan pengaturan langkah (*by-pass governing*), Dimana uap panas lanjut yang keluar dari ketel disamping dialirkan ke tingkat pertama juga langsung dialirkan kesatu, kedua, dan ketiga tingkat menengah tersebut.

5. Klasifikasi Turbin Uap Berdasarkan Penggunaannya

a. Turbin Penggerak Generator

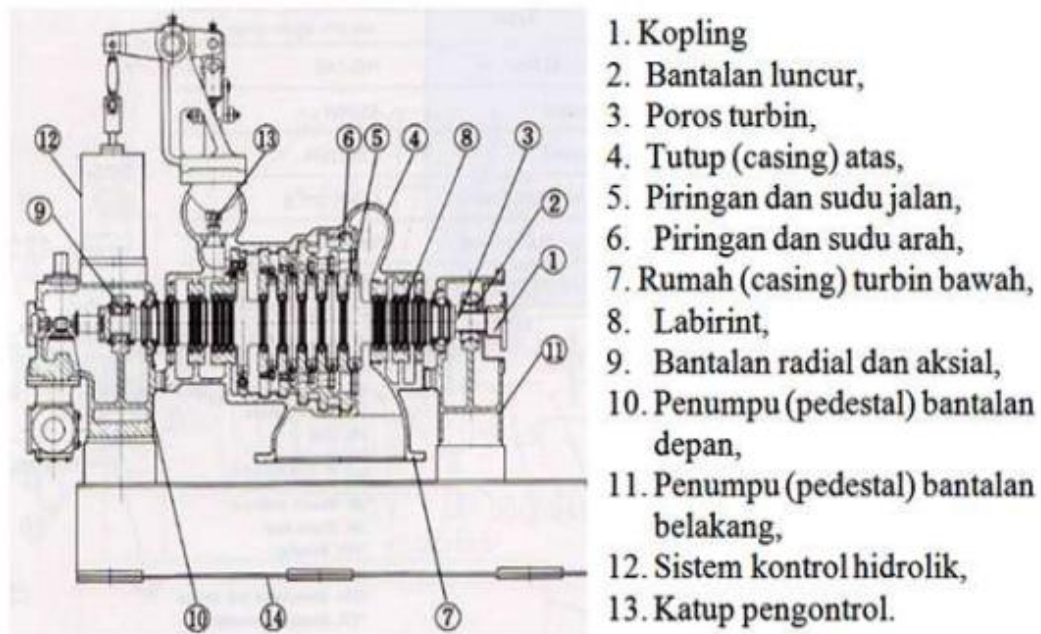
Turbin jenis ini digunakan untuk menghasilkan energi mekanik yang kemudian diteruskan ke generator untuk menghasilkan energi listrik. Turbin penggerak generator banyak digunakan pada pembangkit listrik maupun industri yang memiliki pembangkit listrik sendiri.

b. Turbin Penggerak Peralatan Mekanis

Turbin uap juga dapat digunakan untuk menggerakkan peralatan mekanis seperti pompa, kompresor, dan mesin lainnya. Pada aplikasi ini, energi mekanik dari poros turbin langsung digunakan untuk menggerakkan peralatan yang membutuhkan tenaga putar.

2.4 Bagian Utama Turbin Uap

Turbin uap merupakan mesin konversi energi yang mengubah energi termal dari uap air menjadi energi mekanik melalui proses ekspansi uap yang diarahkan ke sudu-sudu turbin. Turbin uap merupakan mesin yang terdiri atas beberapa komponen utama yang bekerja secara terpadu untuk mengubah energi uap menjadi energi mekanik berupa putaran. Setiap komponen mempunyai fungsi yang berbeda, tetapi saling berhubungan dalam menjaga proses ekspansi uap, menghasilkan putaran rotor, serta mempertahankan kestabilan turbin selama beroperasi. Pemahaman terhadap bagian utama turbin uap penting dalam penelitian ini karena kondisi komponen-komponen tersebut dapat memengaruhi kinerja dan tingkat getaran pada sistem rotor dan bearing. Untuk menjalankan fungsinya dengan baik, turbin uap terdiri dari beberapa bagian utama yang saling bekerja sama (Gordon,



Gambar 2.2 Bagian-Bagian Turbin Uap (Gordon, 2021)

1. *Casing*

Casing turbin merupakan *cover* turbin yang berfungsi untuk membungkus sudusudu dan tempat dudukan komponen- komponen turbin dan Merupakan bagian yang diam merupakan rumah atau wadah dari rotor. Pada casing terdapat sudu-sudu diam (disebut stator) yang dipasang melingkar dan berjajar terdiri dari beberapa baris yang merupakan pasangan dari sudu gerak pada rotor. Sudu diam berfungsi untuk mengarahkan aliran uap agar tepat dalam mendorong sudu gerak pada rotor (Situmorang et al., 2023).



Gambar 2.3 Casing (Adibrata Unggul Jaya)

2. Rotor dan *Wheel*

Rotor adalah bagian turbin yang berputar akibat energi uap yang mengenai sudu-sudu turbin. Rotor terhubung dengan poros (shaft) dan berfungsi meneruskan energi putar dari turbin ke komponen yang digerakkan. Sedangkan *wheel* adalah bagian dari rotor yang berbentuk seperti cakram/roda dan menjadi tempat sudu-sudu turbin dipasang.



Gambar 2.4 Rotor dan *Wheel* (Adibrata Unggul Jaya)

3. *Governur*

Governur adalah alat pengatur yang berfungsi mengontrol kecepatan putaran turbin uap dengan mengatur jumlah aliran uap yang masuk ke turbin. Pada turbin uap, *governur* bekerja berdasarkan perubahan kecepatan putaran (rpm). Ketika beban berubah, *governur* akan menyesuaikan bukaan katup uap agar putaran turbin tetap berada pada nilai yang diinginkan.



Gambar 2.5 *Governur* (Adibrata Unggul Jaya)

4. *Steam Chest*

Steam Chest merupakan komponen turbin uap yang berfungsi untuk menempatkan katup-katup *governur* sebagai pengatur aliran uap yang akan masuk ke turbin.



Gambar 2.6 *Steam Chest* (Adibrata Unggul Jaya)

5. *Coupling*

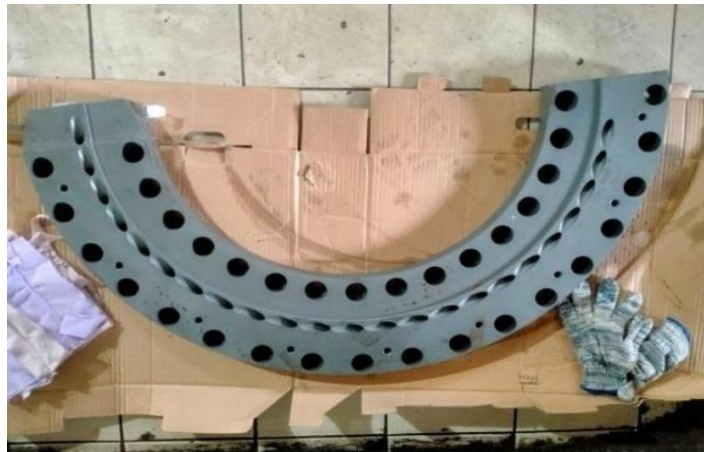
Coupling adalah komponen yang digunakan untuk menghubungkan kedua poros yaitu poros turbin dan poros gearbox (*Pinion Gear*) pada ujungnya dengan tujuan untuk mentransmisikan daya mekanis



Gambar 2.7 *Coupling* (Adibrata Unggul Jaya)

6. *Nozzle*

Nozzle merupakan untuk menyebarkan dan mengarahkan aliran steam yang masuk ke turbin pada permukaan sudu-sudu tingkat pengaturan putaran turbin.



Gambar 2.8 *Nozzle* (Adibrata Unggul Jaya)

7. *Guide Ring*

Untuk memisahkan turbin kedalam beberapa tingkat tekanan dari turbin tekanan rendah. Selain itu dalam diafragma terdapat nozzle yang berfungsi sebagai sudu pengarah dan meningkatkan laju uap sudu gerak.



Gambar 2.9 *Guide Ring* (Adibrata Unggul Jaya)

8. *Carbon Ring dan Spring*

Carbon Ring dan Spring merupakan salah satu bagian turbin yang terletak antara poros dengan *casing* yang berfungsi untuk mencegah uap air keluar dari dalam turbin melewati sela-sela antara poros dengan *casing* akibat perbedaan tekanan.



Gambar 2.10 *Carbon Ring dan Spring* (Adibrata Unggul Jaya)

9. *Spacer Carbon Ring*

Spacer Carbon Ring merupakan komponen stator dari turbin yang berfungsi untuk menahan carbon ring agar selalu tidak bergeser sehingga membuat steam dapat keluar melalui celah-celah carbon tersebut.



Gambar 2.11 *Spacer Carbon Ring* (Adibrata Unggul Jaya)

10. *Buffel Oil*

Buffel Oil merupakan komponen turbin uap yang berfungsi untuk mencegah keluarnya oli ketika rotor *wheel* berputar.



Gambar 2.12 *Buffel Oil* (Adibrata Unggul Jaya)

11. Bearing

Bearing/bantalan pada turbin uap memiliki fungsi sebagai berikut:

- a. Menahan berat dari rotor.
- b. Menahan berbagai gaya tidak stabil dari uap air terhadap sudu turbin.
- c. Menahan ketidakseimbangan karena kerusakan sudu.
- d. Menahan gaya aksial pada beban listrik yang bervariasi.

Jenis-jenis Bearing

a) Journal Bearing

Journal Bearing merupakan salah satu komponen turbin yang berfungsi sebagai bantalan untuk menumpu poros rotor.



Gambar 2.13 Journal Bearing (Adibrata Unggul Jaya)

b) Thrust Bearing

Thrust Bearing adalah jenis bantalan (bearing) yang dirancang khusus untuk menahan gaya aksial (*thrust load*). Dalam sistem turbin uap atau mesin berputar lainnya, thrust bearing sangat penting karena berfungsi untuk menjaga posisi poros tetap stabil secara aksial, terutama saat terjadi dorongan dari arah aliran uap atau beban kerja.



Gambar 2.14 Thrust Bearing (Adibrata Unggul Jaya)

c. Pelumasan Bearing Turbin

Pelumasan bearing turbin adalah proses memberikan oli pelumas secara terus-menerus pada bantalan (bearing) turbin untuk mengurangi gesekan, mendinginkan komponen, dan mencegah keausan. Pelumasan sangat penting untuk menjamin keandalan dan umur panjang dari turbin uap atau gas dibutuhkan sebuah sistem pelumasan menggunakan oli, yang secara terus menerus disirkulasi dan didinginkan untuk melumasi bearing yang terus mengalami pergesekan pada saat turbin uap beroperasi normal (Situmorang et al., 2023).

Tabel 2.1 Batas Suhu Bearing

<i>Metal Temperature Spring Load Arrangement</i>	<i>Metal Temperature Embedded Arrangement</i>	<i>Oil Temperature At oil return line</i>
F/C	F/C	F/C
176/80.0	220/104.0	180/82.0
185/85.0	230/110.0	185/85.0
203/95.0	240/116.0	195/90.5

12. Lay Shaft

Lay Shaft merupakan komponen turbin uap yang berfungsi sebagai perantara pendistribusian putaran turbin uap melalui *governor*.



Gambar 2.15 *Lay Shaft* (Adibrata Unggul Jaya)

13. *Safety Valve Turbin*

Safety Valve Turbin merupakan komponen turbin uap yang berfungsi untuk membuang sisa steam agar tekanan / temperature steam pada turbin uap selalu konstan.



Gambar 2.16 *Safety Valve Turbin* (Adibrata Unggul Jaya)

14. *Steam Valve*

Steam valve (katup uap) adalah komponen penting dalam sistem pembangkitan tenaga uap, seperti pada pembangkit listrik tenaga uap (PLTU), turbin uap, atau sistem perpipaan industri. Fungsinya adalah untuk mengatur, mengarahkan, dan mengontrol aliran uap dari boiler menuju turbin.

Fungsi Utama Steam Strainer

- a. Melindungi peralatan:
Mencegah kerusakan pada katup, turbin, dan peralatan lain akibat partikel asing seperti karat, kerak, atau serpihan logam.
- b. Menjaga efisiensi sistem:
Uap yang bersih mengurangi potensi gangguan aliran dan menjaga performa optimal.
- c. Memperpanjang umur sistem:
Mengurangi frekuensi perawatan dan penggantian komponen akibat kontaminasi.



Gambar 2.17 *Steam Valve* (Adibrata Unggul Jaya)

15. Sistem Pelumasan

Turbin tidak boleh diputar tanpa adanya pelumasan sehingga pelumasan bantalan sangatlah penting. Parameter utama dari sistem pelumasan adalah tekanan. Untuk menjamin tekanan minyak pelumas yang konstan disediakan beberapa pompa minyak pelumas:

- a. *Main Oil Pump* adalah pompa pelumas utama yang digerakkan oleh poros turbin sehingga baru berfungsi ketika putaran turbin mencapai lebih dari 95%.
- b. *Auxiliary Oil Pump* adalah pompa yang digerakkan dengan motor listrik AC. Pompa ini berfungsi pada start up dan shut down turbin serta sebagai back up bila tekanan minyak pelumas dari MOP turun.
- c. *Emergency Oil Pump* adalah pompa yang digerakkan dengan motor listrik DC dan digunakan sebagai cadangan atau darurat ketika pasok listrik AC hilang (Situmorang et al., 2023).



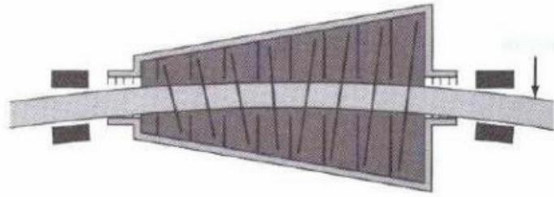
Gambar 2.18 Sistem Pelumasan (Situmorang et al., 2023)

2.5 Instrumental Turbin Uap

Instrumentasi turbin uap merupakan seperangkat alat ukur dan sistem pemantauan yang digunakan untuk mengamati, mengendalikan, serta melindungi operasi turbin uap agar bekerja secara aman dan efisien. Instrumentasi ini berfungsi untuk mengukur parameter penting seperti tekanan uap, temperatur, laju aliran, kecepatan putar poros, tingkat getaran, serta kondisi sistem pelumasan yang sangat memengaruhi kinerja dan keandalan turbin. Data yang dihasilkan oleh instrumen tersebut digunakan sebagai dasar pengendalian operasi dan sistem proteksi, sehingga apabila terjadi penyimpangan dari batas operasi yang diijinkan, sistem dapat memberikan peringatan atau melakukan penghentian turbin secara otomatis untuk mencegah kerusakan yang lebih serius. Dengan demikian, instrumentasi turbin uap memegang peranan penting dalam menjaga kontinuitas operasi, meningkatkan efisiensi pembangkitan, serta memperpanjang umur peralatan turbin uap (Iswahyudi, 2021)

2.5.1 Eksentrilitas

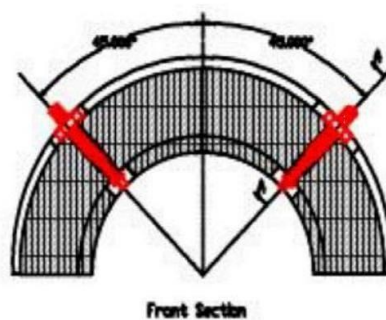
Eksentrilitas merupakan kondisi ketika sumbu putar poros tidak berimpit dengan sumbu geometris bearing, sehingga posisi poros berada tidak tepat di tengah bantalan selama operasi. Pada sistem turbin uap, eksentrisitas menyebabkan distribusi gaya hidrodinamik pada bearing menjadi tidak merata, yang mengakibatkan munculnya gaya dinamis periodik selama poros berputar. Kondisi ini memicu peningkatan amplitudo getaran bearing, khususnya pada frekuensi satu kali putaran poros ($1 \times \text{RPM}$), serta mempercepat terjadinya keausan pada permukaan bantalan. Jika eksentrisitas dibiarkan dalam jangka waktu lama, stabilitas sistem rotor-bearing akan menurun dan berpotensi menimbulkan kerusakan serius pada turbin uap, sehingga pemantauan getaran menjadi indikator penting dalam mendeteksi adanya eksentrisitas pada bearing (Sutrisno & Wibowo, 2021).



Gambar 2.19 Eksentrisitas (Sutrisno & Wibowo, 2018)

2.5.2 Vibrasi

Vibrasi pada turbin uap memiliki hubungan yang sangat erat dengan kondisi bearing, karena bearing berfungsi sebagai penopang poros dan penentu kestabilan sistem rotor selama operasi. Ketika terjadi gangguan seperti keausan bearing, eksentrisitas poros, ketidaksejajaran, atau ketidakstabilan film oli, distribusi gaya pada bearing menjadi tidak merata sehingga menimbulkan peningkatan amplitudo vibrasi. Vibrasi yang berlebihan pada bearing dapat menyebabkan kontak langsung antara poros dan bantalan, mempercepat kerusakan permukaan bearing, serta menurunkan keandalan dan umur pakai turbin uap. Oleh karena itu, pemantauan vibrasi bearing digunakan sebagai indikator utama dalam mendeteksi kondisi abnormal dan mengevaluasi efektivitas perawatan, termasuk sebelum dan sesudah dilakukan overhaul pada turbin uap (Putra & Nugroho, 2021).



Gambar 2.20 Peletakan Sensor dan Vibrasi (Sutrisno & Wibowo, 2022)

2.6 Pengawasan dan Diagnose Kondisi Mesin

Pengawasan dan diagnosis kondisi mesin merupakan kegiatan pemantauan yang dilakukan untuk mengetahui kondisi aktual suatu mesin selama beroperasi serta mengidentifikasi adanya perubahan atau gangguan pada komponen mesin. Pengawasan kondisi mesin dilakukan dengan mengamati dan mengukur berbagai parameter operasi yang dapat menggambarkan kondisi mesin, seperti getaran, temperatur, tekanan, putaran, dan kondisi pelumasan. Dengan melakukan pengawasan secara berkala, perubahan kondisi mesin dapat diketahui lebih awal sehingga tindakan perawatan dapat dilakukan sebelum terjadi kerusakan yang lebih serius.

Pada turbin uap, pengawasan kondisi mesin sangat penting karena turbin memiliki komponen yang berputar dengan kecepatan tinggi dan bekerja secara terus-menerus. Salah satu parameter yang dapat digunakan dalam pengawasan kondisi turbin adalah getaran pada bearing. Peningkatan getaran dapat menunjukkan adanya perubahan kondisi mekanis, seperti ketidakseimbangan rotor (*unbalance*), ketidaksejajaran poros (*misalignment*), keausan bearing, *clearance* yang tidak sesuai, kelonggaran dudukan, atau gangguan sistem pelumasan. Oleh karena itu, pengukuran getaran dapat digunakan sebagai salah satu metode *condition monitoring* untuk mengetahui kondisi sistem rotor-bearing.

Diagnosis kondisi mesin merupakan tahap lanjutan setelah dilakukan pengawasan dan pengukuran. Diagnosis bertujuan untuk menganalisis data hasil pengukuran dan menentukan kemungkinan kondisi atau penyebab gangguan yang terjadi pada mesin. Pada pengukuran vibrasi, data dapat dibandingkan berdasarkan perubahan nilai getaran dari waktu ke waktu, perbedaan arah pengukuran, serta kondisi operasi mesin. Dalam penelitian ini, diagnosis kondisi bearing dilakukan dengan membandingkan tingkat getaran sebelum dan sesudah overhaul pada arah horizontal, vertikal, dan aksial. Hasil pengukuran tersebut digunakan untuk mengetahui perubahan kondisi sistem rotor-bearing setelah dilakukan tindakan overhaul.

Pengawasan dan diagnosis kondisi mesin juga berkaitan erat dengan predictive maintenance, karena data kondisi mesin dapat digunakan sebagai dasar untuk menentukan tindakan perawatan. Apabila terjadi peningkatan getaran yang tidak normal, maka diperlukan pemeriksaan lebih lanjut untuk mengetahui penyebabnya. Dengan demikian, perawatan tidak hanya dilakukan berdasarkan jadwal, tetapi juga berdasarkan kondisi aktual mesin. Pendekatan tersebut dapat membantu mengurangi risiko kerusakan mendadak, meningkatkan keandalan mesin, dan mengurangi waktu berhenti operasi.

Dalam penelitian ini, tingkat vibrasi menjadi parameter utama dalam pengawasan dan diagnosis kondisi bearing turbin uap. Pengukuran dilakukan pada bearing 1 dan bearing 2 dengan arah horizontal, vertikal, dan aksial. Data sebelum dan sesudah overhaul kemudian dibandingkan untuk mengetahui perubahan tingkat getaran. Hasil penelitian menunjukkan bahwa setelah overhaul terjadi penurunan tingkat getaran pada seluruh titik pengukuran. Dengan demikian, pengukuran vibrasi dapat digunakan sebagai salah satu dasar untuk mengevaluasi kondisi bearing dan melihat perubahan kondisi sistem rotor-bearing setelah dilakukan overhaul (Gede Eka Lesmana et al., 2022).

2.7 Predictive Maintenance

Predictive maintenance bukanlah metode yang ampuh untuk semua faktor – faktor yang menyebabkan kerusakan dari suatu peralatan di pabrik. Bahkan tidak dapat secara langsung mempengaruhi kinerja dari suatu pabrik. Perawatan prediktif pada dasarnya merupakan filosofi atau perilaku yang menggunakan kondisi operasi sesungguhnya dari peralatan untuk mengoptimalkan operasi pabrik. Output dari perawatan dari program prediktif adalah data, perawatan ini termasuk jenis “condition – based maintenance” dimana perubahan kondisi mesin atau peralatan dapat dideteksi sehingga tindakan yang bersifat proaktif dapat segera dilakukan sebelum terjadinya kerusakan mesin.

Dewasa ini, pola pemeliharaan prediktif dianggap lebih efektif dan efisien karena pemeliharaan dilakukan berdasarkan hasil pengamatan (monitoring) dan analisa untuk menentukan kondisi dan kapan pemeliharaan akan dilaksanakan, berbeda dengan pola pemeliharaan yang lain seperti pada pola pemeliharaan time base maintenance. Pada pola pemeliharaan time base maintenance, pemeliharaan

dilakukan hanya berdasarkan pada jam operasi peralatan/komponen tanpa mempertimbangkan apakah peralatan tersebut masih baik atau tidak. Pengembangan pola pemeliharaan prediktif, memanfaatkan berbagai peralatan test, peralatan monitoring yang telah dimiliki dan mengikuti berbagai metoda analisis yang dapat diterapkan dalam meningkatkan kualitas pemeliharaan maupun keandalan operasi pembangkit serta efektifitas dalam penggunaan biaya pemeliharaan itu sendiri (Berahmana, 2021).

Penggunaan dari teknologi predictive maintenance memungkinkan kinerja dari departemen perawatan dapat meningkat karena kondisi permesinan dapat diketahui dengan baik tanpa menghentikan jalannya mesin. Perawatan prediktif menunjukkan penyimpangan dari kondisi normal kerja mesin dan dengan cara ini dapat memberikan cara yang lebih handal untuk mengetahui 6 kerusakan yang sedang dan akan terjadi, dengan menunjukkan komponen yang rusak maka pihak manajemen dapat menyiapkan komponen sesuai kebutuhan yang diinginkan. Kunci utama perawatan prediktif adalah mendeteksi adanya kerusakan atau kesukaran yang akan terjadi atau impending trouble dan segera menyelesaikan masalah tersebut sebelum terjadinya kerusakan mesin atau machine breakdown. Perawatan prediktif bekerja berdasarkan proses monitoring condition yang dilakukan terhadap peralatan yang diinginkan. Hasil dari proses ini adalah data – data hasil pengukuran atau pengujian yang selanjutnya data – data tersebut.

dibandingkan dengan data – data acuan yang sudah diketahui sebelumnya (known engineering limit) untuk menentukan kondisi operasi dari peralatan tersebut. Teknik pemantauan yang umumnya digunakan dalam perawatan prediktif meliputi monitoring vibrasi, proses parameter, tribologi, metode thermography, inspeksi visual dan metode non-destructive testing seperti metode ultrasonic (Berahmana, 2021).

2.8 Manfaat dan Tujuan *Predictive Maintenance*

Predictive Maintenance atau pemeliharaan prediktif adalah pendekatan pemeliharaan peralatan industri yang dilakukan berdasarkan kondisi aktual mesin, bukan berdasarkan jadwal rutin. Tujuan utamanya adalah untuk mendeteksi potensi kerusakan sebelum benar-benar terjadi sehingga perbaikan atau penggantian komponen dapat dilakukan secara tepat waktu dan efisien.

Manfaat dari *Predictive Maintenance* adalah:

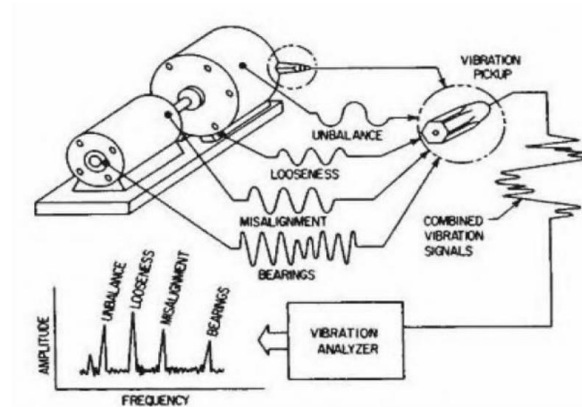
- a. Memperpanjang hidup mesin karena predictive maintenance merupakan perawatan berdasarkan dari hasil pengamatan (condition monitoring) kita bisa mengetahui keadaan suatu mesin tersebut. Bila ada yang tidak normal di dalam mesin tersebut.
- b. Memperbaiki efisiensi dari mesin beserta kinerjanya Dengan mengetahui keadaan suatu mesin tersebut, kita bisa memperbaiki mesin tersebut bila keadaan mesin tersebut tidak sesuai dengan kondisi normalnya. Setelah diperbaiki maka efisiensi dari mesin tersebut beserta kinerjanya akan naik.
- c. Digunakan untuk manajemen perawatan Setelah mendapatkan data – data dari predictive maintenance kita bisa melakukan manajemen perawatan di plant tersebut. Manajemen perawatan akan mengurangi biaya perawatan dan juga dapat meminimalisasikan proses breakdown yang tidak terjadwal.
- d. Memberikan data – data hasil pengukuran yang dapat digunakan untuk evaluasi, modifikasi dan perbaikan peralatan di kemudian hari Dengan diketahuinya data – data dari predictive maintenance kita bisa menjadwalkan perawatan rutin (preventive maintenance) dan bisa mengevaluasi peralatan – peralatan baik yang baru maupun yang sudah lama berdasarkan data tersebut. Keuntungan utama penerapan perawatan prediktif adalah meningkatnya kesiapan peralatan pabrik karena keandalan mesin yang lebih bagus. Kecenderungan rusaknya mesin dimasa mendatang dapat diantisipasi dengan baik sehingga dengan demikian aktivitas perawatan yang direncanakan akan cocok dengan jadwal shutdown peralatan. Keuntungan lain yang didapat adalah berkaitan dengan menurunnya biaya spare part peralatan dan upah buruh. Mesin yang mengalami kerusakan selama beroperasi akan menyebabkan biaya perbaikan kira-kira 10 kali lebih besar dibandingkan bila kegiatan repair dilakukan sesuai jadwal. Banyak kasus terjadi dimana mesin mengalami kerusakan setelah startup dimana hal ini biasanya terjadi karena *built-in defect* maupun pemasangan yang tidak sesuai prosedur. Teknik perawatan prediktif dapat digunakan untuk menjamin alignment (Setyawan & Suryadi, 2022).

Berbagai teknologi dapat digunakan sebagai alat untuk melaksanakan program perawatan prediktif seperti:

1. Analisa Vibrasi

Analisa vibrasi digunakan untuk menentukan kondisi operasi dari mesin dimana dalam metode ini dapat mendiagnosa terjadinya kelainan atau kerusakan pada mesin atau peralatan. Karena kebanyakan peralatan pabrik terdiri atas sistem elektro – mekanis maka analisa vibrasi telah menjadi metode utama dalam sistem perawatan prediktif. Dengan menggunakan metode ini, masalah atau kelainan yang terjadi pada peralatan dapat diidentifikasi lebih awal sebelum masalah tersebut menyebabkan kerusakan peralatan.

Problem yang muncul bisa meliputi bearing yang rusak, kelonggaran mekanis ataupun roda gigi yang pecah. Analisa vibrasi juga dapat mendeteksi adanya misalignment (ketidaklurusan poros) dan imbalance (ketidakseimbangan) yang terjadi pada berbagai peralatan. Pada hakekatnya semua rotating machinery menghasilkan getaran yang merupakan fungsi kelurusan (alignment) dan keseimbangan (balance) dari komponen yang berputar. Pengukuran intensitas getaran pada frekuensi tertentu dapat memberi informasi tentang ketepatan kelurusan poros dan keseimbangannya, kondisi bearing dan roda gigi serta pengaruh struktrur permesinan terhadap resonansi mesin. Analisa ini merupakan jenis metoda yang efektif dan bersifat non – instructive serta sangat cocok digunakan untuk memonitor kondisi mesin selama start – up, shutdown, dan operasi normalnya. Analisa vibrasi ini biasanya digunakan untuk peralatan roda gigi. Peralatan yang digunakan untuk analisa vibrasi dapat dibagi menjadi 2 bagian yaitu sensor atau tranducer yang dipasang pada machine housing atau bearing cap dan analyzer atau vibration monitoring yang berfungsi mengolah data hasil pengukuran agar dapat digunakan untuk mendiagnosa masalah yang timbul (Mahartana, I. B. P. P, 2022).



Gambar 2.21 Proses analisa Vibrasi (Mahartana, I. B. P. P, 2022)

2.9 Pengertian Vibrasi

Suatu partikel yang bergerak bolak-balik terhadap posisi kesetimbangannya atau gerakan maju mundur, atas bawah dari posisi diam disebut vibrasi (getaran). Sebagian besar mesin, getaran ini tidak diinginkan karena selain meningkatkan tegangan juga mengurangi energy yang seharusnya digunakan untuk kefungsiian mesin itu sendiri. Getaran ditandai dengan perubahan secara periodic dari suatu besaran. Besaran yang menyatakan getaran dapat berupa suhu, simpangan, sudut, tekanan, tegangan listrik, kecepatan, dll. Getaran dapat dilihat dimana-mana, misalnya sebuah pegas dimana ujung atasnya dilekatkanpada benda diam dan ujung bawahnya diberikan beban.

Dalam dunia teknik mesin dan perawatan industri, pemantauan kondisi mesin berputar menjadi sangat krusial untuk mencegah kerusakan dini dan meningkatkan keandalan operasional. Salah satu metode yang banyak digunakan adalah pengukuran getaran. Getaran merupakan indikator utama dari ketidakseimbangan, kelainan pada bantalan, pelurusan poros yang salah atau bahkan kegagalan structural. Mesin berputar, seperti pompa, motor listrik, dan turbin, sangat rentan terhadap perubahan kondisi operasional akibat variasi beban. Getaran adalah gerakan osilasi dari suatu benda atau partikel terhadap titik keseimbangannya. Dalam mekanika, getaran dibedakan menjadi dua, yaitu

getaran bebas dan getaran paksa. Getaran bebas terjadi saat sistem berosilasi tanpa adanya gaya luar setelah diberikan gangguan awal, sedangkan getaran paksa terjadi saat sistem bergetar di bawah pengaruh gaya luar yang terus- menerus (Erapabrianto et al., 2022).

2.10 Klasifikasi Getaran

Berdasarkan gangguan yang bekerja getaran dapat dibagi menjadi 2 yaitu getaran bebas dan getaran paksa.

a. Getaran Bebas

Getaran bebas adalah jenis getaran yang terjadi ketika suatu sistem mekanik diberi gangguan awal kemudian dibiarkan bergetar tanpa adanya gaya luar yang bekerja secara terus-menerus. Getaran ini berlangsung akibat adanya gaya pemulih yang berasal dari sifat elastis sistem, dengan frekuensi getaran yang bergantung pada karakteristik massa dan kekakuan sistem tersebut. Pada sistem mesin berputar, getaran bebas dapat muncul akibat gangguan sesaat seperti perubahan beban atau hentakan awal, dan amplitudonya akan berangsur menurun seiring adanya redaman dalam sistem. Pemahaman terhadap getaran bebas penting dalam analisis dinamika mesin karena frekuensi alaminya dapat menjadi acuan untuk menghindari kondisi resonansi yang berpotensi meningkatkan tingkat getaran dan merusak komponen mesin

b. Getaran Paksa

Getaran paksa adalah getaran yang terjadi pada suatu sistem mekanik akibat adanya gaya luar yang bekerja secara terus-menerus dengan frekuensi tertentu. Pada turbin uap, getaran paksa umumnya disebabkan oleh ketidakseimbangan massa rotor, eksentrisitas poros, gaya periodik dari aliran uap, serta ketidaksejajaran poros yang memberikan gaya dinamis berulang pada bearing. Frekuensi getaran paksa biasanya sebanding dengan frekuensi putaran poros atau kelipatannya, sehingga apabila frekuensi gaya eksitasi mendekati frekuensi alami sistem rotor-bearing, amplitudo getaran pada bearing dapat meningkat secara signifikan. Kondisi ini berpotensi menurunkan kestabilan operasi, mempercepat keausan bearing, dan meningkatkan risiko kerusakan pada turbin uap, sehingga analisis getaran paksa menjadi penting dalam pemantauan kondisi dan perencanaan perawatan mesin berputar (Rizky & Wibawaputra, 2024).

2.11 Parameter Getaran

a. Frekuensi

Didefinisikan sebagai jumlah gelombang yang terjadi dalam satuan waktu [1/det] = [Hertz]. Satuan yang biasa digunakan dalam suatu pengukuran adalah Revolution per Minutes (RPM) yaitu 60x frekuensi dalam Hertz.

b. Amplitudo

Didefinisikan sebagai besaran simpangan maksimum dari benda yang bergetar. Amplitude dapat diwakili sebagai displacement [mils], Velocity [in/s], atau acceleration [in/s²].

c. *Displacement*

Diartikan sebagai perubahan actual dari suatu jarak atau posisi dari suatu objek yang relative terhadap titik referensi dan biasa digunakan dalam satuan [mils, in, mm]. pengukuran amplitude yang sering digunakan dalam displacement adalah peak to-peak.

d. *Velocity*

Didefinisikan sebagai perubahan displacement terhadap waktu (turunan pertama, atau $\dot{x}$) dan biasa menggunakan satuan [in/s]. Displacement velocity sering dipakai didalam pengukuran getaran pada machine housing atau housing bearing dan biasa dipakai pada getaran 0 sapaai 1000 Hz. Pengukuran amplitude yang sering juga dipakai dalam velocity adalah *zero-to-peak* (Peak) atau *Peak Value* (PV).

e. *Acceleration*

Didefinisikan sebagai perubahan *velocity* terhadap waktu (turunan kedua dari displacement, atau $\ddot{x}$) dan biasa menggunakan satuan [in/s²]. Amplitude acceleration sering digunakan pada frekuensi diatas 1000 Hz. (Isranuri et al., 2019)

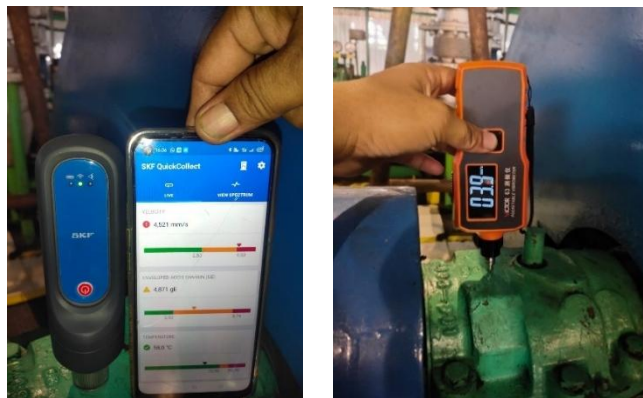
2.12 Pengertian Vibrasimeter

Vibrasimeter adalah alat ukur yang digunakan untuk mengukur tingkat getaran mekanis pada mesin berputar, khususnya sebagai indikator kondisi komponen seperti poros dan bearing. Pada sistem turbin uap, vibrasimeter digunakan untuk memantau getaran bearing karena perubahan nilai getaran dapat mencerminkan adanya gangguan operasional seperti keausan bearing, ketidakseimbangan rotor, misalignment poros, atau kelonggaran mekanis. Alat ini bekerja dengan sensor getaran yang mengubah gerakan osilasi menjadi sinyal listrik dan menampilkannya

dalam besaran getaran seperti kecepatan, percepatan, atau perpindahan, sehingga hasil pengukuran dapat digunakan sebagai dasar evaluasi kondisi turbin sebelum dan sesudah overhaul (Isranuri et al., 2019)

Dalam penggunaannya, vibrasimeter dapat mengukur beberapa parameter getaran, antara lain percepatan (acceleration), kecepatan getaran (velocity), dan perpindahan (displacement). Pada penelitian tingkat getaran bearing turbin uap, parameter yang digunakan adalah kecepatan getaran dengan satuan mm/s RMS. Pengukuran dilakukan pada beberapa arah untuk memperoleh gambaran kondisi getaran secara lebih menyeluruh. Pengukuran pada arah horizontal, vertikal, dan aksial dapat membantu mengetahui karakteristik getaran yang terjadi pada bearing akibat kondisi mekanis sistem rotor-bearing.

Dalam penelitian ini, vibrasimeter digunakan sebagai alat utama untuk memperoleh data tingkat getaran bearing turbin uap. Pengukuran dilakukan pada bearing 1 dan bearing 2 dengan arah horizontal, vertikal, dan aksial. Data yang diperoleh sebelum dan sesudah overhaul kemudian dibandingkan untuk mengetahui perubahan tingkat getaran bearing. Dengan demikian, vibrasimeter memiliki peranan penting dalam penelitian karena menjadi alat untuk memperoleh data kuantitatif yang digunakan dalam mengevaluasi kondisi bearing setelah dilakukan overhaul.



Gambar 2.22 Alat ukur vibrasimeter (Adibrata Unggul Jaya)

2.13 Prinsip Kerja Vibrasimeter

Vibrasimeter bekerja berdasarkan prinsip deteksi gerakan dinamis pada permukaan atau komponen yang bergetar. Sensor pada vibrasimeter, biasanya berupa akselerometer, akan mendeteksi gerakan osilasi dan mengubahnya menjadi sinyal listrik melalui efek piezoelektrik. Sinyal tersebut kemudian dikonversi oleh sistem elektronik menjadi data numerik yang menggambarkan besaran vibrasi, seperti percepatan (m/s^2), kecepatan (mm/s), atau perpindahan (μm). Pemilihan parameter ini bergantung pada jenis vibrasi dan komponen yang diukur.

Vibrasimeter adalah perangkat pengukuran getaran mekanis yang digunakan untuk mengetahui kondisi dinamis dari suatu mesin, termasuk turbin uap, pompa, motor listrik, dan mesin-mesin berputar lainnya. Vibrasimeter digunakan dalam program condition monitoring dan predictive maintenance untuk mendeteksi dini adanya kerusakan seperti ketidakseimbangan, misalignment, keausan bantalan, serta resonansi struktur (Bently & Hatch, 2023)

2.14 Jenis Sensor Getaran dalam Vibrasimeter

a. Akselerator

Akselerometer merupakan jenis sensor yang paling umum digunakan dalam vibrasimeter. Sensor ini mengukur percepatan dari gerakan getaran. Akselerometer biasanya menggunakan bahan piezoelektrik yang menghasilkan muatan listrik saat mengalami tekanan mekanik akibat getaran.

b. Velometer

Velometer mengukur kecepatan vibrasi. Sensor ini sering digunakan pada aplikasi pemantauan mesin karena kecepatan vibrasi (mm/s) berkaitan langsung dengan tingkat keparahan kerusakan pada komponen.

2.15 Parameter Vibrasi yang Diukur

a. Amplitudo

Amplitudo menggambarkan besarnya getaran, yang dapat dinyatakan dalam satuan percepatan, kecepatan, atau perpindahan.

b. Frekuensi

Frekuensi adalah jumlah siklus getaran yang terjadi dalam satu detik (satuan: Hz). Frekuensi dapat mengidentifikasi jenis kerusakan spesifik, seperti unbalance, misalignment, atau kerusakan bearing.

c. Fase

Fase adalah parameter penting dalam analisis getaran untuk menentukan hubungan antara dua titik pengukuran, dan sangat penting dalam phase analysis dan orbital analysis.

2.16 Pengertian *Overhaul*

Overhaul merupakan suatu kegiatan pemeliharaan dan perawatan mesin yang dilakukan secara menyeluruh dengan tujuan untuk mengetahui kondisi setiap komponen mesin, memperbaiki komponen yang mengalami kerusakan atau keausan, serta mengembalikan kondisi mesin agar dapat beroperasi dengan baik. Proses *overhaul* umumnya meliputi kegiatan pembongkaran, pemeriksaan, pembersihan, pengukuran, perbaikan atau penggantian komponen, kemudian dilanjutkan dengan pemasangan dan penyetelan kembali. Kegiatan ini dilakukan untuk menjaga keandalan, keamanan, dan kestabilan operasi mesin serta mengurangi kemungkinan terjadinya kerusakan ketika mesin kembali dioperasikan. Pada penelitian ini, *overhaul* menjadi bagian penting karena digunakan sebagai dasar untuk membandingkan kondisi getaran *bearing* turbin uap sebelum dan sesudah dilakukan perawatan.

Pada turbin uap, *overhaul* dilakukan dengan melakukan pemeriksaan terhadap berbagai komponen yang berhubungan dengan sistem putaran dan penopang rotor. Salah satu komponen yang menjadi perhatian utama adalah bearing, karena bearing berfungsi menopang poros atau rotor dan menjaga agar putaran dapat berlangsung secara stabil. Kegiatan *overhaul* pada bagian *bearing* dapat mencakup pemeriksaan kondisi permukaan bearing, pemeriksaan clearance, pemeriksaan dudukan bearing, pemeriksaan kelurusan atau *alignment* poros, serta pemeriksaan sistem pelumasan. Selain itu, dilakukan pula pembersihan komponen dan penggantian komponen yang telah mengalami keausan atau kerusakan. Pemeriksaan dan penyetelan tersebut bertujuan mengurangi gangguan mekanis yang dapat menyebabkan peningkatan getaran pada saat turbin beroperasi. Dalam penelitian yang dilakukan, proses *overhaul* mencakup pemeriksaan *alignment* poros, *clearance* bearing, pengencangan baut dudukan, serta pengecekan sistem pelumasan (Rizky & Wibawaputra, 2024).

Pelaksanaan *overhaul* memiliki hubungan yang erat dengan tingkat getaran *bearing* turbin uap, karena perubahan kondisi mekanis komponen dapat memengaruhi kestabilan putaran rotor. Bearing yang mengalami keausan, ketidaksejajaran poros, masalah pelumasan, atau gangguan pada komponen pendukung dapat menyebabkan meningkatnya getaran selama turbin beroperasi. Oleh karena itu, pengukuran getaran sebelum dan sesudah *overhaul* dapat digunakan untuk mengetahui perubahan kondisi bearing sebagai salah satu indikator keberhasilan proses perawatan.

2.16.1 Tujuan *Overhaul*

Tujuan utama *overhaul* adalah untuk mengembalikan kondisi dan kinerja mesin agar dapat beroperasi secara optimal, aman, stabil, dan memiliki keandalan yang baik. *Overhaul* dilakukan melalui pemeriksaan secara menyeluruh terhadap komponen mesin untuk mengetahui kondisi aktual setelah digunakan dalam periode tertentu. Pemeriksaan tersebut meliputi kondisi fisik komponen, tingkat keausan, kebersihan, serta kondisi komponen yang berhubungan dengan sistem kerja mesin. Dengan dilakukannya *overhaul*, komponen yang mengalami kerusakan atau keausan dapat diperbaiki maupun diganti sehingga kondisi mesin dapat kembali mendekati kondisi kerja yang baik.

Pada turbin uap, *overhaul* bertujuan untuk memastikan komponen-komponen utama, terutama rotor, poros, dan bearing, berada dalam kondisi yang layak untuk dioperasikan kembali. Pemeriksaan dapat dilakukan terhadap *clearance* bearing, *alignment* poros,udukan *bearing*, serta sistem pelumasan. Pemeriksaan dan penyetelan tersebut penting karena kondisi bearing dan poros berhubungan dengan kestabilan putaran rotor. Dalam penelitian ini, proses *overhaul* mencakup pemeriksaan *alignment* poros, *clearance* bearing, pengencangan bautudukan, serta pengecekan sistem pelumasan yang bertujuan memperbaiki kondisi mekanis sistem rotor-bearing.

Selain memperbaiki kondisi komponen, *overhaul* bertujuan mengurangi kemungkinan terjadinya gangguan mekanis dan meningkatkan kestabilan operasi turbin. Salah satu indikator yang dapat digunakan untuk melihat perubahan kondisi tersebut adalah tingkat getaran *bearing*. Apabila tingkat getaran setelah *overhaul* lebih rendah dibandingkan sebelum *overhaul*, maka dapat menjadi indikasi bahwa

kondisi mekanis sistem rotor-*bearing* mengalami perbaikan. Pada penelitian ini, seluruh titik pengukuran menunjukkan penurunan tingkat getaran setelah *overhaul*, sehingga hasil pengukuran tersebut digunakan untuk mengevaluasi perubahan kondisi *bearing* turbin uap sebelum dan sesudah dilakukan *overhaul* (Berahmana, 2021)

2.16.2 Tahapan Pelaksanaan *Overhaul*

Pelaksanaan *overhaul* turbin uap dilakukan secara bertahap dan sistematis untuk memastikan setiap komponen dapat diperiksa dan dikembalikan pada kondisi kerja yang baik. Tahapan tersebut pada dasarnya dimulai dari persiapan, penghentian dan pengamanan mesin, pembongkaran komponen, pemeriksaan dan pengukuran, perbaikan atau penggantian komponen, pemasangan kembali, penyetelan, hingga pengujian setelah mesin dioperasikan kembali.

Tahap pertama adalah persiapan dan pengamanan mesin. Pada tahap ini turbin dihentikan sesuai prosedur operasi, kemudian dilakukan isolasi terhadap sumber energi dan sistem yang berhubungan dengan turbin. Peralatan kerja, alat ukur, suku cadang, dan perlengkapan keselamatan dipersiapkan sebelum pekerjaan dimulai. Setelah kondisi mesin dinyatakan aman, dilakukan pemeriksaan awal dan dokumentasi kondisi komponen sebelum pembongkaran. Tahap ini penting untuk menjaga keselamatan pekerja serta memastikan proses *overhaul* dapat dilakukan secara teratur.

Tahap kedua adalah pembongkaran dan pemeriksaan komponen. Komponen turbin dibongkar secara bertahap untuk memberikan akses terhadap bagian-bagian yang akan diperiksa. Pada bagian bearing dan rotor *wheel*, pemeriksaan dapat meliputi kondisi permukaan bearing, *clearance*, dudukan bearing, kondisi poros, *alignment*, serta sistem pelumasan. Dalam penelitian Anda, proses *overhaul* juga mencakup pemeriksaan *alignment* poros, *clearance* bearing, pengencangan baut dudukan, dan pengecekan sistem pelumasan.

Tahap ketiga adalah pengukuran dan evaluasi kondisi komponen. Pengukuran dilakukan untuk mengetahui apakah dimensi dan kondisi komponen masih memenuhi persyaratan kerja. Komponen yang mengalami keausan, kerusakan, atau penyimpangan kondisi kemudian ditentukan apakah masih dapat diperbaiki atau harus diganti. Pada tahap ini pemeriksaan *clearance* dan *alignment* menjadi penting

karena kondisi tersebut berhubungan dengan kestabilan sistem rotor-*bearing* dan tingkat getaran turbin.

Tahap keempat adalah perbaikan dan penggantian komponen. Komponen yang mengalami kerusakan atau keausan dilakukan perbaikan atau penggantian sesuai kebutuhan. *Bearing* yang kondisinya sudah tidak memenuhi persyaratan dapat diganti, sedangkan komponen yang masih dapat digunakan dilakukan pembersihan dan perbaikan. Sistem pelumasan juga diperiksa agar dapat bekerja dengan baik setelah turbin kembali beroperasi.

Tahap kelima adalah pemasangan dan penyetelan kembali. Setelah pemeriksaan dan perbaikan selesai, seluruh komponen dipasang kembali sesuai posisi dan prosedurnya. Selanjutnya dilakukan penyetelan *alignment* poros, *clearance* bearing, pengencangan baut dan dudukan, serta pemeriksaan sistem pelumasan. Penyetelan ini bertujuan agar hubungan antara rotor, poros, dan bearing berada dalam kondisi yang sesuai sehingga putaran turbin dapat berlangsung secara stabil.

Tahap keenam adalah pengujian setelah *overhaul*. Setelah seluruh pekerjaan selesai, turbin dipersiapkan untuk dioperasikan kembali. Pada tahap ini dilakukan pemeriksaan terhadap kondisi operasi dan dilakukan pengukuran getaran pada titik-titik *bearing* yang telah ditentukan. Hasil pengukuran tersebut kemudian dibandingkan dengan data sebelum *overhaul*. Dalam penelitian Anda, pengukuran dilakukan pada *bearing* 1 dan *bearing* 2 dengan arah *horizontal*, *vertikal*, dan *aksial*, sehingga dapat diketahui perubahan tingkat getaran setelah proses *overhaul* (Ohoirenan et al., 2022)

2.16.3 *Overhaul* Pada *Bearing* Turbin Uap

Overhaul pada *bearing* turbin uap merupakan kegiatan pemeliharaan menyeluruh yang bertujuan untuk mengetahui kondisi bearing setelah digunakan dalam periode tertentu serta melakukan tindakan pemeriksaan, pembersihan, pengukuran, perbaikan, penggantian, dan penyetelan kembali apabila diperlukan. Pemeriksaan bearing perlu dilakukan karena kondisi bearing berhubungan dengan kestabilan sistem rotor dan tingkat getaran turbin. Pengukuran getaran dapat digunakan sebagai salah satu metode untuk memantau kondisi mesin berputar dan mendeteksi perubahan kondisi mekanis selama pengoperasian.

Dalam pelaksanaan *overhaul*, beberapa kondisi yang perlu diperhatikan antara lain kondisi fisik *bearing*, *clearance*, *alignment* poros, kedudukan *bearing*, serta sistem pelumasan. Kondisi tersebut dapat memengaruhi kestabilan rotor dan respon getaran pada *bearing*. Oleh karena itu, pemeriksaan dan penyetelan komponen selama *overhaul* dapat menjadi bagian penting dalam upaya mempertahankan keandalan sistem rotor-*bearing*. Evaluasi kondisi mesin dapat dilakukan melalui pengukuran getaran pada posisi dan arah pengukuran yang telah ditentukan.

Pelumasan *bearing* merupakan salah satu aspek penting yang perlu diperiksa dalam proses *overhaul*. *Bearing* turbin yang bekerja pada putaran tinggi membutuhkan sistem pelumasan yang mampu membentuk lapisan pelumas di antara permukaan yang bergerak sehingga kontak langsung dan gesekan dapat dikurangi. Apabila kondisi pelumas menurun, terjadi kontaminasi, atau suplai pelumas tidak sesuai, maka kondisi kerja *bearing* dapat terganggu. Dalam penelitian mengenai *thrust bearing* turbin uap di PLTU, ditemukan adanya kontaminasi air pada pelumas yang berkaitan dengan kebocoran uap melalui sistem *gland seal*. Kondisi tersebut menjadi salah satu permasalahan yang direncanakan untuk diperbaiki melalui *overhaul*.

Selain pelumasan, *alignment* poros merupakan faktor yang penting dalam *overhaul*. *Alignment* bertujuan memastikan posisi poros berada pada kondisi yang sesuai terhadap *bearing* dan komponen penggerakannya. Ketidaksejajaran poros atau *misalignment* dapat menyebabkan distribusi beban menjadi tidak merata dan meningkatkan gaya dinamis pada *bearing*. Kondisi tersebut selanjutnya dapat menghasilkan peningkatan tingkat getaran. Oleh karena itu, pemeriksaan *alignment* dilakukan untuk memastikan sistem rotor-*bearing* dapat bekerja dengan kondisi mekanis yang lebih baik setelah *overhaul*.

Pengukuran getaran setelah *overhaul* kemudian dapat dibandingkan dengan kondisi sebelum *overhaul* untuk mengetahui perubahan kondisi sistem rotor-*bearing*. ISO 20816-1 menjelaskan bahwa evaluasi getaran mesin dapat dilakukan berdasarkan besarnya getaran dan perubahan tingkat getaran selama kondisi operasi tertentu. Pada bagian mesin yang tidak berputar, pengukuran dapat dilakukan pada *bearing* atau *bearing housing*, sedangkan untuk mesin tertentu seperti turbin,

pengukuran pada elemen berputar juga dapat memberikan informasi kondisi yang lebih sensitif (Berahmana, 2021)

2.16.4 Faktor-Faktor Yang Diperiksa Saat *Overhaul*

Pada proses *overhaul* bearing turbin uap, pemeriksaan dilakukan secara menyeluruh untuk mengetahui kondisi komponen setelah beroperasi dalam periode tertentu. Pemeriksaan tidak hanya berfokus pada bearing, tetapi juga pada komponen yang berhubungan langsung dengan kestabilan sistem rotor–poros–*bearing*. Hal ini penting karena perubahan kondisi pada salah satu komponen dapat memengaruhi tingkat getaran dan keandalan turbin. Dalam penelitian Anda, pemeriksaan *overhaul* mencakup *alignment* poros, *clearance* bearing, dudukan bearing, serta sistem pelumasan.

Kondisi fisik bearing merupakan faktor utama yang diperiksa saat *overhaul*. Pemeriksaan dilakukan untuk mengetahui adanya keausan, goresan, perubahan bentuk, retak, korosi, atau kerusakan pada permukaan *bearing*. *Bearing* yang mengalami kerusakan dapat menyebabkan kontak antara poros dan bearing menjadi tidak normal sehingga kestabilan putaran rotor terganggu. Kondisi tersebut dapat menyebabkan peningkatan gaya dinamis dan akhirnya meningkatkan tingkat getaran.

Clearance bearing merupakan jarak bebas antara *bearing* dengan poros pada kondisi kerja tertentu. Pemeriksaan *clearance* dilakukan untuk memastikan jarak bebas masih sesuai dengan kebutuhan operasi. *Clearance* yang terlalu besar dapat menyebabkan poros bergerak secara berlebihan, sedangkan *clearance* yang terlalu kecil dapat meningkatkan kemungkinan gesekan dan panas. Oleh karena itu, pengukuran *clearance* menjadi salah satu pemeriksaan penting pada saat *overhaul*.

Alignment atau kesejajaran poros merupakan faktor penting dalam menjaga kestabilan sistem rotor-*bearing*. Pemeriksaan dilakukan untuk memastikan poros berada pada posisi yang sesuai terhadap *bearing* dan komponen penggerakannya. Apabila terjadi *misalignment*, beban yang diterima *bearing* dapat menjadi tidak merata dan menimbulkan gaya tambahan pada sistem. Kondisi tersebut dapat meningkatkan getaran pada *bearing*. Pada penelitian Anda, pemeriksaan *alignment* poros merupakan salah satu bagian dari kegiatan *overhaul*.

Keseimbangan rotor merupakan bagian yang berputar pada turbin dan ditopang oleh *bearing*. Kondisi rotor perlu diperiksa untuk mengetahui adanya kerusakan, perubahan bentuk, atau ketidakseimbangan (*unbalance*). Rotor yang tidak seimbang dapat menghasilkan gaya sentrifugal ketika berputar sehingga menimbulkan getaran. Oleh karena itu, pemeriksaan kondisi rotor menjadi bagian penting untuk memastikan putaran turbin tetap stabil setelah *overhaul*.

Sistem pelumasan *bearing* juga perlu diperiksa selama *overhaul*. Pelumas berfungsi mengurangi gesekan antara permukaan bearing dan poros serta membantu membawa panas yang timbul selama operasi. Pemeriksaan dapat mencakup kondisi oli, kebersihan oli, aliran pelumas, tekanan pelumas, serta kondisi saluran dan komponen sistem pelumasan. Gangguan pada pelumasan dapat menyebabkan peningkatan gesekan dan temperatur *bearing* serta berpotensi memengaruhi tingkat getaran. Penelitian mengenai *thrust bearing* turbin uap juga menunjukkan pentingnya kondisi pelumas terhadap keandalan *bearing*.

Dudukan *bearing* (*bearing housing*) diperiksa untuk memastikan tidak terdapat kerusakan, kelonggaran, retak, atau kondisi lain yang dapat menyebabkan *bearing* tidak terpasang dengan baik. Dudukan yang tidak kuat atau tidak sesuai dapat menyebabkan pergerakan tambahan pada bearing ketika rotor berputar. Kondisi tersebut dapat menghasilkan getaran tambahan sehingga pemeriksaan dudukan menjadi penting dalam proses *overhaul*.

Baut dan komponen pengikat pada dudukan *bearing* perlu diperiksa untuk memastikan seluruh bagian terpasang dengan kuat. Baut yang kendur dapat menyebabkan perubahan posisi atau pergerakan pada dudukan *bearing* ketika turbin beroperasi. Pada penelitian Anda, pengencangan baut dudukan termasuk salah satu tindakan yang dilakukan dalam proses *overhaul*.

Poros turbin diperiksa untuk mengetahui kondisi permukaan, kemungkinan keausan, kerusakan, atau perubahan bentuk. Poros yang tidak berada dalam kondisi baik dapat memengaruhi hubungan antara rotor dan bearing. Pemeriksaan poros juga berkaitan dengan pemeriksaan *alignment*, karena kondisi poros yang tidak sesuai dapat menyebabkan ketidaksejajaran dan meningkatkan getaran.

Berdasarkan uraian tersebut, faktor-faktor yang diperiksa saat *overhaul* pada bearing turbin uap meliputi kondisi fisik bearing, *clearance*, *alignment* poros,

kondisi rotor, sistem pelumasan,udukan *bearing*, baut pengikat, kondisi poros, komponen pendukung, dan tingkat getaran. Pemeriksaan tersebut bertujuan untuk memastikan sistem rotor-*bearing* berada dalam kondisi yang baik sebelum turbin kembali dioperasikan. Dalam penelitian ini, tingkat getaran menjadi parameter utama untuk mengevaluasi perubahan kondisi bearing karena data getaran sebelum dan sesudah *overhaul* dapat dibandingkan secara kuantitatif. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa seluruh titik pengukuran mengalami penurunan getaran setelah *overhaul*, sehingga perubahan tingkat getaran dapat digunakan sebagai salah satu indikator untuk mengevaluasi hasil proses *overhaul*.

2.17 Jenis Sensor Getaran

Sensor getaran merupakan salah satu bagian penting dalam sistem pemantauan kondisi mesin (*condition monitoring*). Sensor ini berfungsi mendeteksi gerakan atau perubahan getaran yang terjadi pada mesin, kemudian mengubah gerakan mekanis tersebut menjadi sinyal yang dapat diproses dan dibaca oleh alat ukur. Pada mesin berputar seperti turbin uap, sensor getaran dapat digunakan untuk mengetahui kondisi rotor, poros, bearing, dan komponen berputar lainnya. Data yang diperoleh dari sensor dapat digunakan untuk mengetahui apakah kondisi mesin berada dalam keadaan normal atau terdapat perubahan yang perlu mendapatkan pemeriksaan lebih lanjut.

Pemilihan jenis sensor harus disesuaikan dengan karakteristik mesin, jenis bearing, lokasi pengukuran, rentang frekuensi, serta parameter getaran yang ingin diketahui. Secara umum, parameter getaran yang banyak digunakan dalam pemantauan mesin adalah perpindahan (*displacement*), kecepatan (*velocity*), dan percepatan (*acceleration*). Masing-masing parameter mempunyai karakteristik yang berbeda. Oleh karena itu, penggunaan sensor yang tepat akan membantu menghasilkan data pengukuran yang lebih sesuai dengan kondisi mesin yang sedang diamati (Ohoirenan et al., 2022).

2.17.1 Sensor Displacement

Sensor *displacement* merupakan sensor yang digunakan untuk mengukur besar perpindahan atau perubahan posisi suatu bagian mesin akibat adanya getaran. Besarnya perpindahan biasanya dinyatakan dalam satuan mikrometer (μm) atau

milimeter (mm). Sensor ini mengukur seberapa jauh suatu objek bergerak dari posisi referensinya akibat adanya getaran.

Pada mesin berputar, sensor displacement dapat digunakan untuk mengamati gerakan relatif antara poros dengan *bearing* atau bagian mesin lainnya. Pengukuran ini penting terutama pada sistem yang menggunakan *fluid-film bearing*, karena posisi dan gerakan poros di dalam *bearing* dapat memberikan informasi mengenai kondisi sistem rotor-bearing.

Sensor *displacement* dapat memberikan informasi mengenai perubahan posisi poros yang terjadi selama mesin beroperasi. Apabila terjadi perubahan perpindahan yang tidak normal, kondisi tersebut dapat menjadi indikasi adanya gangguan pada sistem rotor, seperti ketidakseimbangan, ketidaksejajaran, atau perubahan kondisi bearing. Oleh karena itu, sensor *displacement* dapat menjadi salah satu pilihan dalam sistem pemantauan kondisi turbin.

2.17.2 Sensor *Velocity*

Sensor *velocity* merupakan sensor yang digunakan untuk mengukur kecepatan getaran suatu mesin. Hasil pengukuran umumnya dinyatakan dalam satuan mm/s. Kecepatan getaran merupakan salah satu parameter yang banyak digunakan untuk melakukan evaluasi kondisi mesin berputar karena dapat memberikan gambaran mengenai tingkat energi getaran yang terjadi pada mesin.

Pada penelitian mengenai bearing turbin uap, parameter *velocity* sangat relevan karena tingkat getaran dinyatakan dalam mm/s RMS. Nilai RMS (*Root Mean Square*) memberikan nilai efektif dari sinyal getaran sehingga dapat digunakan untuk membandingkan kondisi mesin pada waktu atau kondisi operasi yang berbeda.

Pengukuran *velocity* dapat dilakukan pada beberapa arah, seperti horizontal, vertikal, dan aksial. Pengukuran dalam beberapa arah diperlukan karena getaran yang terjadi pada sistem rotor-bearing tidak selalu memiliki besaran yang sama pada setiap arah. Pada penelitian Anda, pengukuran dilakukan pada bearing 1 dan bearing 2 dengan arah *horizontal*, *vertikal*, dan *aksial* sehingga diperoleh data tingkat getaran dari setiap titik pengukuran.

2.17.3 Sensor *Accelerometer*

Accelerometer merupakan sensor yang digunakan untuk mengukur percepatan getaran. Hasil pengukurannya umumnya dinyatakan dalam satuan m/s^2 atau g . *Accelerometer* bekerja dengan mendeteksi percepatan yang terjadi akibat gerakan atau getaran mesin.

Accelerometer banyak digunakan pada sistem *condition monitoring* karena mampu memberikan respons yang baik terhadap getaran dengan frekuensi relatif tinggi. Oleh karena itu, sensor ini dapat digunakan untuk mendeteksi berbagai kondisi pada mesin, termasuk gangguan pada bearing, roda gigi, maupun komponen berputar lainnya.

Sinyal yang dihasilkan *accelerometer* dapat diproses lebih lanjut sehingga dapat diperoleh informasi lain mengenai karakteristik getaran. Dengan analisis yang lebih mendalam, sinyal percepatan dapat digunakan untuk mengetahui frekuensi dominan dan pola getaran yang terjadi pada mesin. Hal ini dapat membantu proses diagnosis apabila terjadi perubahan kondisi mesin.

2.17.4 Sensor *Piezoelectric*

Sensor *piezoelectric* merupakan salah satu jenis sensor yang banyak digunakan untuk pengukuran getaran. Sensor ini bekerja berdasarkan prinsip efek *piezoelectric*, yaitu menghasilkan muatan atau tegangan listrik ketika material *piezoelectric* menerima gaya atau tekanan mekanis.

Pada saat mesin mengalami getaran, elemen *piezoelectric* di dalam sensor menerima gaya akibat percepatan massa internal. Gaya tersebut menghasilkan sinyal listrik yang besarnya berhubungan dengan gerakan atau percepatan yang diterima sensor. Sinyal kemudian diteruskan ke alat pengukuran untuk diolah menjadi nilai getaran.

Sensor *piezoelectric* banyak digunakan dalam pemantauan mesin karena memiliki konstruksi yang relatif kuat dan mampu digunakan pada berbagai kondisi pengukuran. Sensor ini juga dapat digunakan untuk mendeteksi getaran dengan frekuensi yang cukup tinggi sehingga sesuai untuk berbagai aplikasi *condition monitoring*.

2.17.5 Sensor *Velocity* Seismik

Sensor *velocity* seismik merupakan sensor yang dirancang untuk mengukur kecepatan getaran pada struktur atau rumah mesin. Sensor jenis ini dapat digunakan pada mesin berputar untuk mengetahui tingkat getaran yang diteruskan ke struktur atau *bearing housing*.

Pada pengukuran kondisi mesin, sensor *velocity* seismik dapat memberikan informasi mengenai besarnya getaran struktur akibat operasi mesin. Data tersebut dapat digunakan untuk melihat perubahan tingkat getaran dari waktu ke waktu. Apabila nilai getaran mengalami peningkatan secara terus-menerus, diperlukan pemeriksaan lebih lanjut terhadap kondisi mesin.

2.17.6 Perbandingan Jenis Sensor Getaran

Dapat dilihat perbedaan pada table dibawah ini.

Tabel 2.2 Perbandingan Jenis Sensor Getaran

No	Jenis Sensor	Parameter Yang Diukur	Satuan	Penggunaan
1	Displacement Sensor	Perpindahan	μm , mm	Gerakan relatif poros
2	Velocity Sensor	Kecepatan Getaran	Mm/s	Pemantauan mesin berputar
3	Accelerometer	Percepatan	m/s^2 , g	Analisis getaran dan frekuensi tinggi
4	Piezoelectric	Perpindahan	m/s^2 , g	Condition monitoring
5	Proximity Sensor	Perpindahan/Posisi Relatif	μm , mm	Pemantauan gerakan poros
6	Seismic Velocity Sensor	Kecepatan Getaran Struktur	Mm/s	Pemantauan <i>bearing housing</i> /struktur

2.17.7 Pemilihan Sensor untuk Bearing Turbin Uap

Pemilihan sensor pada bearing turbin uap harus memperhatikan jenis bearing dan tujuan pengukuran. Apabila tujuan pengukuran adalah mengetahui gerakan relatif poros, maka sensor displacement atau proximity dapat digunakan. Sementara itu, apabila tujuan pengukuran adalah mengetahui tingkat getaran pada rumah

bearing, maka sensor *velocity* atau *accelerometer* dapat digunakan sesuai dengan kebutuhan pengukuran.

Dalam penelitian ini, fokus pengukuran adalah membandingkan tingkat getaran bearing turbin uap sebelum dan sesudah overhaul. Oleh karena itu, parameter yang digunakan adalah kecepatan getaran (*velocity*) dalam mm/s RMS. Pengukuran dilakukan pada bearing 1 dan bearing 2 dengan tiga arah pengukuran, yaitu horizontal, vertikal, dan aksial.

Penggunaan parameter *velocity* memungkinkan peneliti memperoleh nilai kuantitatif yang dapat dibandingkan antara kondisi sebelum dan sesudah dilakukan overhaul. Nilai yang diperoleh dari masing-masing titik pengukuran kemudian digunakan untuk menentukan perubahan tingkat getaran.

2.17.8 Pengaruh Posisi Sensor terhadap Hasil Pengukuran

Selain jenis sensor, posisi dan arah pemasangan sensor juga memengaruhi hasil pengukuran. Sensor harus ditempatkan pada titik yang telah ditentukan dan dipasang dengan baik agar getaran mesin dapat diterima secara optimal. Pemasangan yang tidak tepat dapat menghasilkan data yang kurang representatif. Pada bearing turbin uap, pengukuran dapat dilakukan pada arah *horizontal*, *vertikal*, dan *aksial*. Arah *horizontal* dan *vertikal* umumnya digunakan untuk mengetahui getaran radial, sedangkan arah aksial digunakan untuk mengetahui getaran sepanjang sumbu poros. Perbedaan nilai antara ketiga arah tersebut dapat memberikan informasi tambahan mengenai kondisi rotor-bearing.

Dalam penelitian ini, ada enam titik pengukuran digunakan, yaitu bearing 1 horizontal, bearing 1 vertikal, bearing 1 aksial, bearing 2 horizontal, bearing 2 vertikal, dan bearing 2 aksial. Dengan menggunakan titik pengukuran yang sama sebelum dan sesudah *overhaul*, perbandingan data dapat dilakukan secara lebih konsisten.

2.17.9 Sensor Getaran dalam *Condition Monitoring*

Penggunaan sensor getaran merupakan bagian penting dari *condition monitoring*. Data yang diperoleh dari sensor dapat digunakan untuk mengetahui perubahan kondisi mesin sebelum kerusakan berkembang menjadi lebih serius. Pemantauan secara berkala memungkinkan teknisi membandingkan nilai getaran aktual dengan data pengukuran sebelumnya.

Pada turbin uap, perubahan tingkat getaran dapat berkaitan dengan kondisi bearing, rotor, poros, alignment, maupun sistem pelumasan. Oleh karena itu, sensor getaran tidak hanya berfungsi sebagai alat untuk mendapatkan nilai numerik, tetapi juga sebagai alat bantu dalam proses diagnosis kondisi mesin.

Dalam penelitian ini, data getaran digunakan untuk mengetahui perubahan kondisi *bearing* setelah dilakukan *overhaul*. Data sebelum *overhaul* dibandingkan dengan data setelah *overhaul*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa seluruh titik pengukuran mengalami penurunan nilai getaran setelah *overhaul*.

2.17.10 Hubungan Sensor Getaran dengan Penelitian

Penggunaan sensor getaran dalam penelitian ini memiliki hubungan langsung dengan tujuan penelitian, yaitu mengetahui perbandingan tingkat getaran *bearing* turbin uap sebelum dan sesudah *overhaul*. Sensor berfungsi mengubah getaran mekanis yang terjadi pada bearing menjadi data yang dapat dibaca dan dianalisis.

Data yang diperoleh kemudian digunakan untuk menghitung nilai rata-rata, selisih perubahan, dan persentase perubahan tingkat getaran. Dengan menggunakan titik pengukuran dan metode yang sama pada kondisi sebelum dan sesudah *overhaul*, perubahan tingkat getaran dapat digunakan sebagai salah satu indikator untuk melihat perubahan kondisi sistem rotor-*bearing*.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu

3.1.1 Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di PT. ADIBRATA UNGGUL JAYA Jl. Patriot No.66, Sunggal, Kec. Medan Sunggal, Kota Medan, Sumatera Utara.

3.1.2 Waktu Penelitian

Tabel 3.1 Waktu Penelitian

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

3.2 Bahan dan Alat

Alat dan bahan penelitian merupakan komponen penting yang digunakan untuk mendukung pelaksanaan penelitian sehingga tujuan penelitian dapat tercapai secara optimal. Pada penelitian ini, alat dan bahan yang digunakan berfungsi untuk memperoleh data tingkat getaran bearing turbin uap sebelum dan sesudah overhaul serta untuk menganalisis hasil pengukuran berdasarkan standar yang berlaku. Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

3.2.1 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam proses penelitian ini adalah:

1. Data primer yang digunakan adalah dokumentasi.

2. Data sekunder yang digunakan adalah riwayat perawatan dan *logsheet* operator.

3.2.2 Alat penelitian

Adapun alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. *Vibration meter* atau *vibration analyzer*

Vibration meter digunakan untuk mengukur tingkat getaran pada bearing turbin uap. Parameter getaran yang diukur umumnya berupa kecepatan getaran (*velocity*) dalam satuan mm/s RMS, sesuai dengan ketentuan pada standar ISO 10816.



Gambar 3.1 Vibrasimeter

2. Laptop

Laptop digunakan untuk mengolah, menyimpan, dan menganalisis data hasil pengukuran serta menyusun laporan penelitian.



Gambar 3.2 Laptop

3. Handphone

Handphone digunakan untuk mendokumentasikan proses penelitian .



Gambar 3.3 Handphone

4. Sigmat

Sigmat adalah alat ukur presisi yang digunakan untuk mengukur dimensi linear seperti panjang, diameter dalam, diameter luar, dan kedalaman. Dalam overhaul turbin uap.



Gambar 3.4 Sigmat

5. Dial

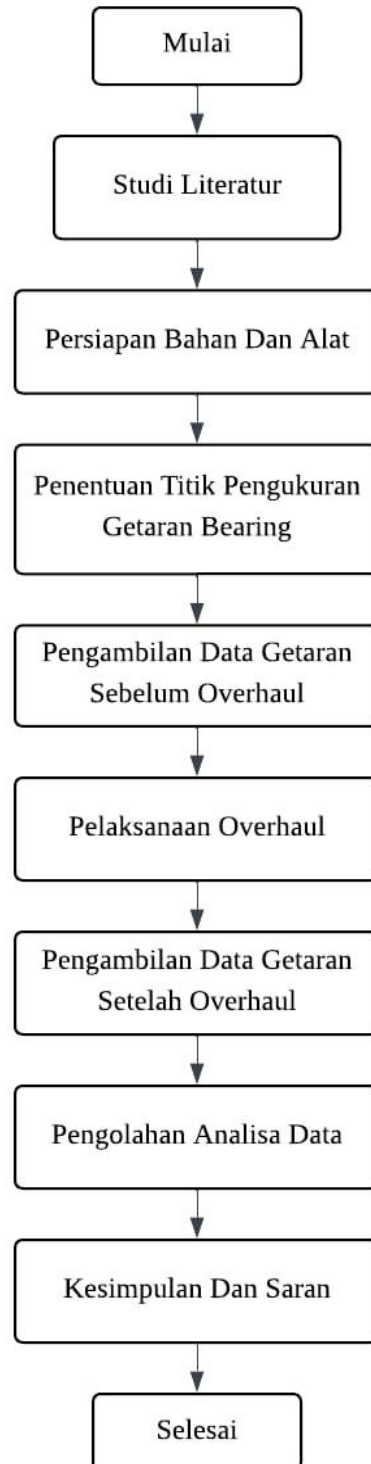
Dial adalah alat ukur presisi yang digunakan untuk mengukur aksial, kerataan, dan radial turbin. Karena turbin berputar dengan kecepatan sangat tinggi (hingga 120.000 – 200.000 rpm), setiap penyimpangan kecil dapat menyebabkan vibrasi, overheating, dan kerusakan.



Gambar 3.5 *Dial*

3.3 Diagram alir Penelitian

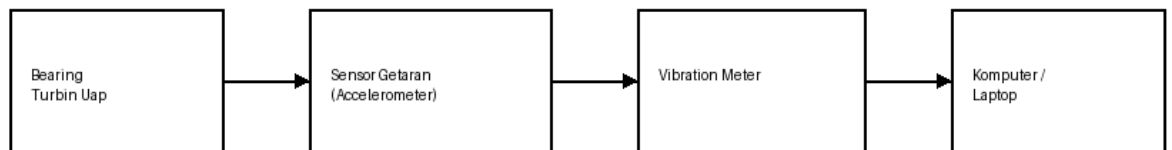
Diagram alir penelitian ditunjukkan pada gambar dibawah ini.



Gambar 3.6 Diagram Alir Penelitian

3.4 Rancangan Alat Penelitian

Pada bagian ini dijelaskan bagaimana sistem atau alat yang akan digunakan dalam penelitian dirancang untuk memperoleh data yang diperlukan. Penelitian ini dilakukan pada turbin uap dengan tujuan mengetahui nilai perbandingan getaran bearing turbin uap sebelum dan sesudah overhaul.



Gambar 3.7 Diagram Rancangan Penelitian

3.5 Prosedur Penelitian

1. Mulai

Tahapan awal penelitian dimulai ini menandakan bahwa proses analisis vibrasi pada turbin uap akan dilakukan secara sistematis.

2. Studi Literatur

Pada tahap ini, dilakukan kajian pustaka untuk memahami teori dan konsep yang berkaitan dengan penelitian, meliputi:

- a. Pembangkit Tenaga Uap dengan memahami cara kerja pembangkit tenaga uap sebagai sistem utama dalam penelitian.
- b. Turbin Uap dengan mengetahui bagaimana turbin uap bekerja serta faktor-faktor yang dapat mempengaruhi efisiensinya.
- c. Vibrasi pada Mesin Mengkaji penyebab, dampak, dan metode analisis vibrasi yang dapat digunakan untuk mengevaluasi kondisi turbin.

3. Pengumpulan Data

Setelah memahami konsep dasar, penelitian berlanjut dengan pengambilan data di lapangan. Proses ini mencakup:

- a. Observasi Lapangan dengan melakukan pengamatan langsung terhadap turbin uap untuk memahami kondisi operasionalnya.

- b. Melakukan pengambilan data berupa vibrasi sebelum dilakukannya overhaul.
 - c. Parameter Vibrasi dengan mengumpulkan data vibrasi yang terjadi pada turbin, misalnya amplitudo, frekuensi, dan pola getaran.
4. Pengolahan Data
- Data yang telah dikumpulkan kemudian diolah untuk mendapatkan informasi yang lebih bermakna, termasuk:
- a. Mengukur *Clearance Bearing* dengan menentukan jarak bebas antara bantalan dan poros turbin untuk melihat apakah ada ketidakseimbangan atau gesekan berlebih.
 - b. Mengukur Frekuensi Vibrasi dengan menganalisis pola getaran untuk mengetahui apakah ada anomali pada turbin uap.
 - c. Mengukur bearing sebelum dilakukan overhaul
 - d. Data Hasil Vibrasi dengan mengolah data yang telah diukur untuk memahami apakah vibrasi yang terjadimasih dalam batas aman atau berpotensi menimbulkan kerusakan.
5. Analisa Data
- Setelah data diproses, langkah selanjutnya adalah melakukan analisis terhadap hasil yang diperoleh. Analisis ini mencakup:
- a. Menganalisis vibrasi terhadap komponen turbin yaitu bearing sebelum dilakukannya *overhaul* mengidentifikasi dampak vibrasi terhadap elemen mekanis dalam turbin,
 - b. Menganalisis vibrasi setelah dilakukannya overhaul, apakah ada perubahan Tingkat getarannya setelah dilakukan overhaul.
6. Keputusan: Apakah Hasil Valid
- a. Jika tidak valid, berarti ada ketidaksesuaian dalam hasil analisis, sehingga mungkin perlu dilakukan perbaikan dalam pengolahan data atau pengumpulan data ulang.
 - b. Jika valid, maka penelitian berlanjut ke tahap kesimpulan.
7. Hasil dan Pembahasan
- a. Menyajikan hasil akhir dari analisis yang telah dilakukan.

- b. Menarik kesimpulan mengenai kondisi bearing pada turbin uap setelah dilakukannya overhaul.

8. Selesai.

3.6 Variabel Penelitian

1. Variabel Bebas

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah kondisi bearing turbin uap, yang dibedakan menjadi:

- Kondisi Bearing sebelum overhaul
- Kondisi Bearing setelah overhaul

2. Variabel Terikat

Variabel terikat dalam penelitian ini adalah tingkat getaran bearing turbin uap. Parameter getaran yang diamati meliputi:

- Kecepatan getaran (mm/s RMS)
- Percepatan getaran (m/s^2)

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengukuran Getaran *Bearing* Turbin Uap Sebelum Dilakukan *Overhaul*

Pengukuran Getaran sebelum *overhaul* dilakukan pada saat turbin uap masih berada dalam kondisi operasi sebelum dilakukan perawatan menyeluruh. Data ini digunakan sebagai data awal untuk mengetahui kondisi *bearing* turbin uap sebelum dilakukan *overhaul*. Pengukuran dilakukan pada dua *bearing* utama, yaitu *bearing* 1 dan *bearing* 2, masing-masing pada arah horizontal, vertikal, dan aksial.

4.1.1 Data Getaran *Bearing* Turbin Uap Sebelum *Overhaul*

Berikut ini adalah rata-rata pengukuran getaran *bearing* sebelum *overhaul* pada beberapa titik pengukuran adalah sebagai berikut:



Gambar 4.1 Pengukuran Vibrasi *Bearing* 1 Horizontal A

Pada gambar 4.1 menunjukkan proses pengukuran getaran pada *bearing* 1 arah *horizontal* A menggunakan alat ukur vibrasi (vibrasimeter). Hasil pengukuran menunjukkan nilai 4,3 mm/s



Gambar 4.2 Pengukuran Vibrasi *Bearing* 1 Horizontal B

Pada gambar 4.1 menunjukkan proses pengukuran getaran pada *bearing* 1 arah *horizontal* B menggunakan alat ukur vibrasi (vibrasimeter). Hasil pengukuran menunjukkan nilai 5,0 mm/s



Gambar 4.3 Pengukuran Vibrasi *Bearing 1 Vertikal*

Pada Gambar 4.3 menunjukkan pengukuran vibrasi pada *bearing 1* arah vertikal dengan alat vibrasi (vibrasimeter). Hasil pengukuran menunjukkan nilai 5,6 mm/s.



Gambar 4.4 Pengukuran Vibrasi *Bearing 1 Arah Aksial*

Pada gambar 4.4 menunjukkan pengukuran vibrasi pada bearing 1 arah *Aksial* dengan alat ukur vibrasi (vibrasimeter). Hasil pengukuran menunjukkan nilai 3,6 mm/s.



Gambar 4.5 Pengukuran Vibrasi *Bearing 2 Arah Horizontal A*

Pada gambar 4.5 menunjukkan pengukuran vibrasi pada *bearing 2 arah horizontal A* dengan alat ukur vibrasi (vibrasimeter). Hasil pengukuran menunjukkan nilai 4,8 mm/s.



Gambar 4.6 Pengukuran Vibrasi *Bearing 2 Arah Horizontal B*

Pada gambar 4.6 menunjukkan pengukuran vibrasi pada *bearing 2 arah horizontal B* dengan alat ukur vibrasi (vibrasimeter). Hasil pengukuran menunjukkan nilai 4,7 mm/s.



Gambar 4.7 Pengukuran Vibrasi *Bearing 2* Arah *Vertikal*

Pada gambar 4.7 menunjukkan pengukuran vibrasi bearing 2 arah vertikal dengan alat ukur vibrasi (vibrasimeter). Hasil pengukuran menunjukkan nilai 3,6 mm/s.



Gambar 4.8 Pengukuran Vibrasi *Bearing 2* *Aksial*

Pada gambar 4.8 menunjukkan pengukuran vibrasi bearing 2 arah aksial dengan alat ukur vibrasi(vibrasimeter). Hasil pengukuran menunjukkan nilai 4,6 mm/s.

Hasil pengukuran getaran bearing turbin uap sebelum *overhaul* disajikan pada tabel 4.1 dibawah ini.

Tabel 4.1 Data Getaran *Bearing* Turbin Uap Sebelum *Overhaul*

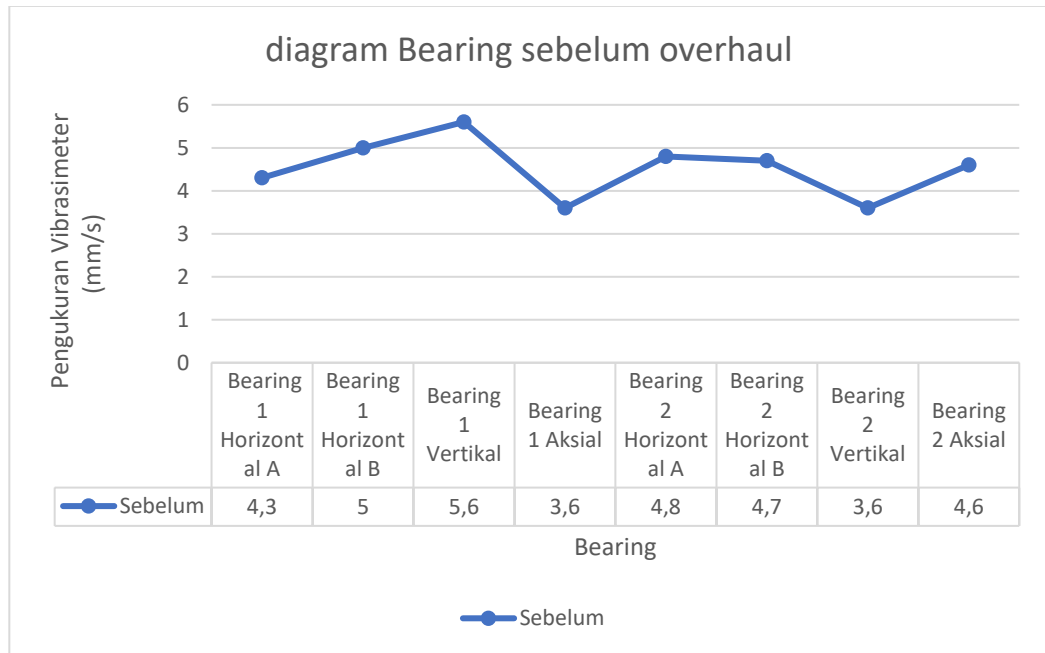
No	Titik Pengukuran	Arah Pengukuran	Nilai Getaran (mm/s RMS)
1	Bearing 1	Horizontal A	4,3
2	Bearing 1	Horizontal B	5,0
3	Bearing 1	Vertikal	5,6
4	Bearing 1	Aksial	3,6
5	Bearing 2	Horizontal A	4,8
6	Bearing 2	Horizontal B	4,7
7	Bearing 2	Vertikal	3,6
8	Bearing 2	Aksial	4,6

Berdasarkan tabel 4.1 dapat diketahui bahwa sebelum dilakukan *overhaul*, nilai getaran *bearing* turbin uap berada pada rentang 3,6 mm/s sampai 5,6 mm/s. Nilai getaran tertinggi ditemukan pada *bearing* 1 arah *vertikal* sebesar 5,6 mm/s, sedangkan nilai getaran terendah ditemukan pada *bearing* 1 arah *aksial* dan *bearing* 2 arah *vertikal* sebesar 3,6 mm/s. Secara umum, data tersebut menunjukkan bahwa kondisi *bearing* sebelum *overhaul* masih memperlihatkan tingkat getaran yang relative tinggi.

Untuk mengetahui tingkat getaran *bearing* sebelum *overhaul*, dilakukan perhitungan nilai rata-rata getaran seluruh titik pengukuran. Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh nilai rata-rata getaran *bearing* sebelum *overhaul* sebesar 4,4 mm/s. Nilai rata-rata ini menunjukkan bahwa secara keseluruhan kondisi vibrasi turbin sebelum *overhaul* berada pada tingkat yang cukup tinggi.

Jika ditinjau berdasarkan posisi *bearing*, terlihat bahwa *bearing* 1 memiliki tingkat getaran yang lebih tinggi dibandingkan *bearing* 2 pada semua arah pengukuran. Pada *bearing* 1, nilai getaran pada rentang 3,6-5,6 mm/s, sedangkan pada *bearing* 2 berada pada rentang 3,6-4,8 mm/s.

Secara keseluruhan hasil pengukuran sebelum *overhaul* menunjukkan bahwa turbin uap memerlukan Tindakan perawatan karena nilai getaran yang relative tinggi berpotensi memengaruhi kestabilan operasi, meningkatkan keausan komponen, serta memperbesar risiko kerusakan apabila dibiarkan dalam jangka waktu yang panjang.



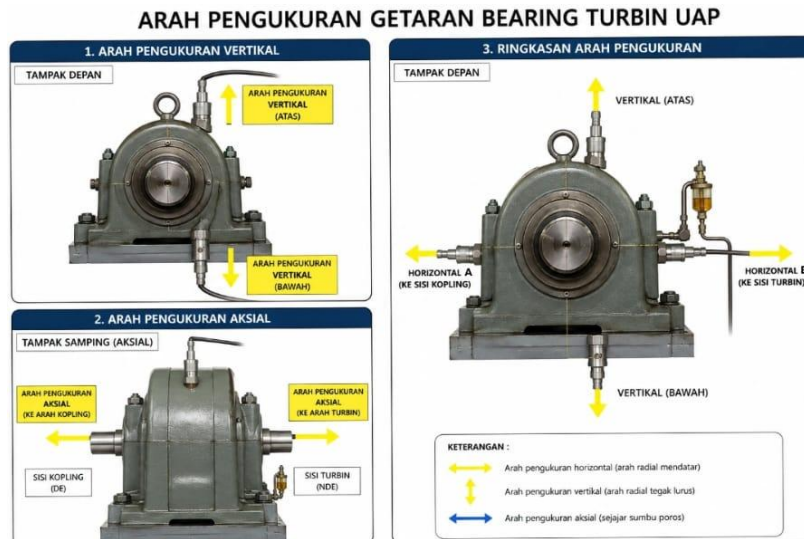
Gambar 4.9 Diagram Sebelum *overhaul*

Dari grafik diatas dapat dilihat perbedaan tingkat getaran pada masing-masing pengukuran. Titik dengan nilai tertinggi menunjukkan area yang paling berpotensi mengalami gangguan mekanis, sehingga perlu menjadi perhatian khusus pada saat overhaul dilakukan.

4.2 Pembahasan Hasil Pengukuran Getaran *Bearing* Turbin Uap Sesudah Dilakukan *Overhaul*

Setelah proses *overhaul* selesai dilakukan, pengukuran getaran kembali dilaksanakan pada titik yang sama dengan pengukuran sebelum *overhaul*. Pengukuran ini bertujuan untuk mengetahui kondisi getaran *bearing* turbin uap setelah dilakukan pembongkaran, pemeriksaan, pembersihan, penyetelan ulang, dan penggantian komponen yang diperlukan selama overhaul.

Pada Gambar dibawah ini menunjukkan gambar metode pengukuran pada bearing secara Horizontal (a), Horizontal (b), Vertikal, dan Aksial. Dimana pengukuran dilakukan untuk mendapat hasil data yang presisi dari 4 sisi pengukuran tersebut.



Gambar 4.10 Arah Pengukuran Getaran Bearing Turbin Uap

4.2.1 Data Getaran *Bearing* Turbin Uap Sesudah *Overhaul*

Berikut ini adalah rata-rata pengukuran getaran *bearing* turbin uap sesudah dilakukan *overhaul* pada beberapa titik pengukuran adalah sebagai berikut:



Gambar 4.11 Pengukuran Vibrasi *Bearing* 1 *Horizontal A*

Pada gambar 4.11 menunjukkan pengukuran vibrasi *bearing* 1 arah *horizontal A* dengan alat ukur vibrasi(vibrasimeter). Hasil pengukuran menunjukkan nilai 3,0 mm/s.



Gambar 4.12 Pengukuran Vibrasi *Bearing 1 Horizontal B*

Pada gambar 4.12 menunjukkan pengukuran vibrasi *bearing 1* arah *horizontal B* dengan alat ukur vibrasi (vibrasimeter). Hasil pengukuran menunjukkan nilai 2,9 mm/s.



Gambar 4.13 Pengukuran Vibrasi *Bearing 1 Vertikal*

Pada gambar 4.13 menunjukkan pengukuran vibrasi *bearing 1* arah *vertikal* dengan alat ukur vibrasi (vibrasimeter). Hasil pengukuran menunjukkan nilai 2,2 mm/s.



Gambar 4.14 Pengukuran vibrasi *Bearing 1 Aksial*

Pada gambar 4.14 menunjukkan pengukuran vibrasi *bearing 1* arah *aksial* dengan alat ukur vibrasi (vibrasimeter). Hasil pengukuran menunjukkan nilai 2,5 mm/s.



Gambar 4.15 Pengukuran Vibrasi *Bearing 2 Horizontal A*

Pada gambar 4.15 menunjukkan pengukuran vibrasi *bearing 2* arah *horizontal A* dengan alat ukur vibrasi (vibrasimeter). Hasil pengukuran menunjukkan nilai 3,2 mm/s.



Gambar 4.16 Pengukuran Vibrasi *Bearing 2 Horizontal B*

Pada gambar 4.16 menunjukkan pengukuran vibrasi *bearing 2* arah *horizontal B* dengan alat ukur vibrasi (vibrasimeter). Hasil pengukuran menunjukkan nilai 2,8 mm/s.



Gambar 4.17 Pengukuran Vibrasi *Bearing 2 Vertikal*

Pada gambar 4.17 menunjukkan pengukuran vibrasi *bearing 2* arah *vertikal* dengan alat ukur vibrasi (vibrasimeter). Hasil pengukuran menunjukkan nilai 1,8 mm/s.



Gambar 4.18 Pengukuran Vibrasi *Bearing 2 Aksial*

Pada gambar 4.18 menunjukkan pengukuran vibrasi *bearing 2* arah *aksial* dengan alat ukur vibrasi (vibrasimeter). Hasil pengukuran menunjukkan nilai 1,2 mm/s.

Hasil pengukuran getaran *bearing* turbin uap sesudah *overhaul* disajikan pada tabel 4.2

Tabel 4.2 Data Getaran *Bearing* Turbin Uap Sesudah *Overhaul*

No	Titik Pengukuran	Arah Pengukuran	Nilai Getaran (mm/s RMS)
1	Bearing 1	Horizontal A	3,0
2	Bearing 1	Horizontal B	2,9
3	Bearing 1	Vertikal	2,2
4	Bearing 1	Aksial	2,5
5	Bearing 2	Horizontal A	3,2
6	Bearing 2	Horizontal B	2,8
7	Bearing 2	Vertikal	1,8
8	Bearing 2	Aksial	1,2

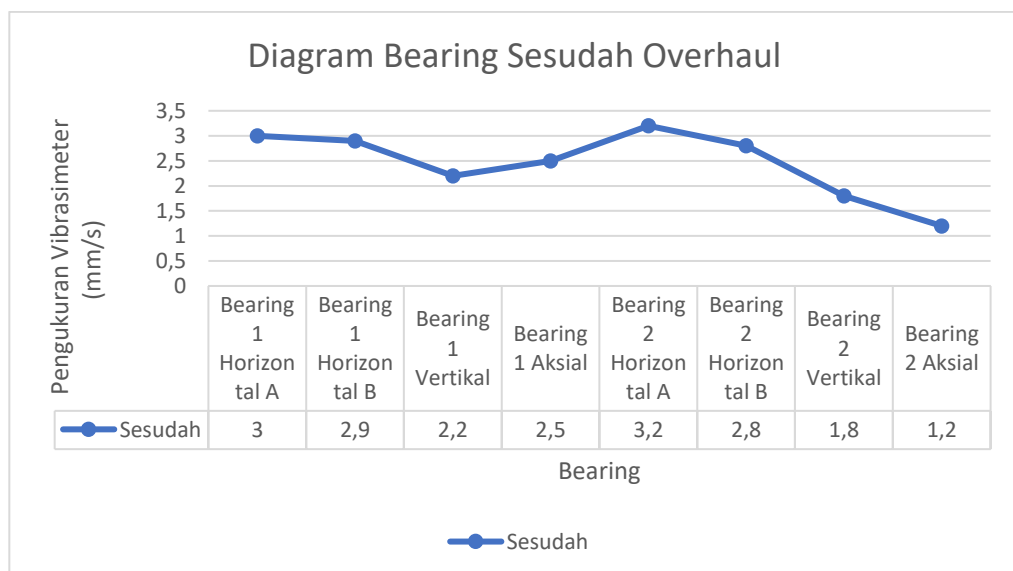
Berdasarkan tabel 4.2, terlihat bahwa setelah dilakukan *overhaul*, nilai getaran *bearing* turbin uap berada pada rentang 1,2 mm/s sampai 3,2 mm/s. Nilai getaran tertinggi sesudah *overhaul* terdapat pada *bearing 2* arah *horizontal A* sebesar 3,2 mm/s, sedangkan nilai terendah terdapat pada *bearing 2* arah *aksial* sebesar 1,2 mm/s.

Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh nilai rata-rata getaran *bearing* turbin uap sesudah *overhaul* sebesar 2,3 mm/s. Jika dibandingkan dengan nilai rata-rata sebelum *overhaul* sebesar 4,4 mm/s, maka terlihat bahwa setelah dilakukan *overhaul* terjadi penurunan getaran yang cukup signifikan.

Jika ditinjau berdasarkan posisi *bearing*, *bearing* 2 masih menunjukkan nilai getaran yang sedikit lebih tinggi dibandingkan *bearing* 1. Meskipun demikian, seluruh nilai tersebut lebih rendah dibandingkan kondisi sebelum *overhaul*. Hal ini menunjukkan bahwa *overhaul* memberikan dampak positif terhadap perbaikan kondisi *bearing* pada kedua sisi turbin.

Jika ditinjau berdasarkan arah pengukuran, arah *vertikal* masih menunjukkan nilai getaran tertinggi pada kedua *bearing*, walaupun besarnya sudah mengalami penurunan yang cukup jelas dibandingkan kondisi sebelum *overhaul*.

Secara umum, hasil pengukuran sesudah *overhaul* menunjukkan bahwa tindakan perawatan yang dilakukan mampu menurunkan tingkat vibrasi pada seluruh titik pengukuran. Kondisi ini mengindikasikan bahwa *overhaul* memberikan pengaruh positif terhadap performa turbin uap dapat meningkatkan keandalan operasi mesin.



Gambar 4.14 Diagram Sesudah *Overhaul*

Dari grafik diatas menunjukkan pola getaran bearing sesudah overhaul pada setiap titik pengukuran. Apabila grafik memperlihatkan kecendrungan penurunan pada sebagian besar titik pengukuran, maka hal tersebut mengindikasikan bahwa *overhaul* memberikan dampak positif terhadap kondisi operasi turbin.

4.3 Mengetahui Perbandingan Tingkat Getaran *Bearing* Akibat Proses *Overhaul*

Perbandingan tingkat getaran bearing akibat proses overhaul dilakukan untuk mengetahui besarnya perubahan yang terjadi pada masing-masing titik pengukuran.

Dapat digunakan untuk memperoleh nilai rata-rata dari beberapa titik pengukuran dapat dilihat dalam rumus sebagai berikut:

X = Jumlah Seluruh Data

N = Jumlah Seluruh Pengukuran

Dapat digunakan untuk memperoleh nilai selisih dari beberapa titik pengukuran dapat dilihat dalam rumus sebagai berikut:

$\Delta X = X_{\text{sebelum}} - X_{\text{sesudah}}$

Dapat digunakan untuk memperoleh nilai penurunan dari beberapa titik pengukuran dapat dilihat dalam rumus sebagai berikut:

$(X_{\text{sebelum}} - X_{\text{sesudah}}) / X_{\text{sebelum}} \times 100\%$

Untuk mengetahui nilai penurunan dapat dilihat sebagai berikut:

$(X_{\text{sebelum}} - X_{\text{sesudah}}) / X_{\text{sebelum}} \times 100\%$

$$\frac{4,3 - 3,0}{4,3} \times 100\%$$

$$\frac{1,3}{4,3} \times 100\%$$

$$= 0,3 \times 100\% = 30\%$$

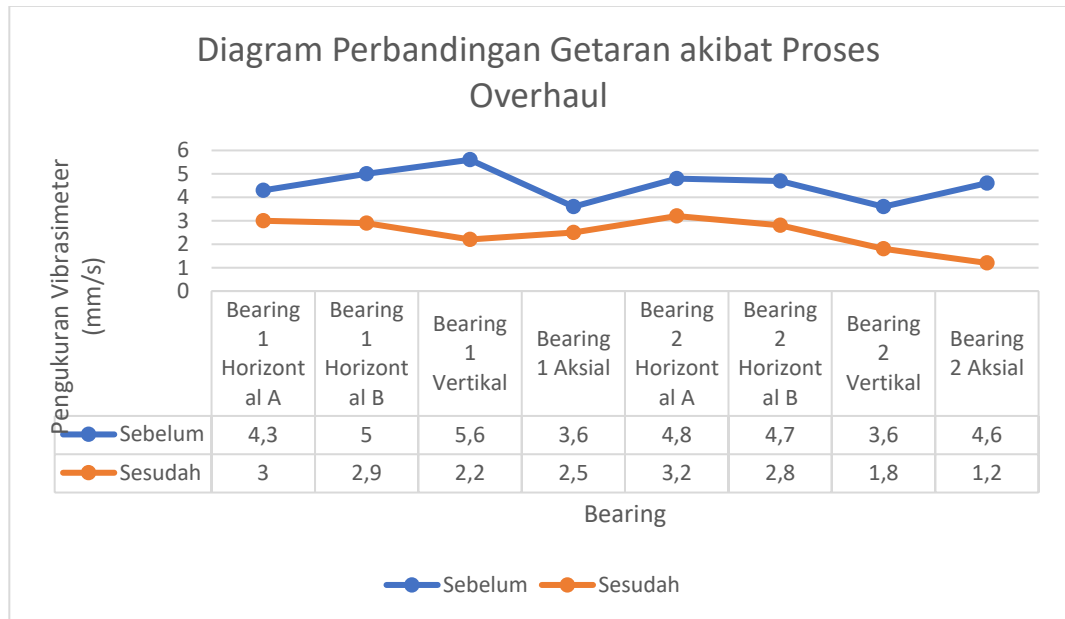
Hasil perbandingan tersebut dapat dilihat pada tabel 4.3 dibawah ini.

Tabel 4.3 Perbandingan Tingkat Getaran *Bearing* Akibat Proses *Overhaul*

No	Titik Pengukuran	Sebelum Overhaul (mm/s)	Sesudah Overhaul (mm/s)	Selisih (mm/s)	Penurunan (%)
1	Bearing 1 Horizontal A	4,3	3,0	1,3	30
2	Bearing 1 Horizontal B	5,0	2,9	2,1	40,2
3	Bearing 1 Vertikal	5,6	2,2	3,4	60
4	Bearing 1 Aksial	3,6	2,5	1,1	30,2
5	Bearing 2 Horizontal A	4,8	3,2	1,6	33
6	Bearing 2 Horizontal B	4,7	2,8	1,9	40
7	Bearing 2 Vertikal	3,6	1,8	1,8	50
8	Bearing 2 Aksial	4,6	1,2	3,4	73

Berdasarkan tabel 4.3 dapat dilihat bahwa seluruh titik pengukuran mengalami penurunan getaran setelah dilakukan *overhaul*. Nilai selisih penurunan getaran berada pada rentang 1,1 mm/s sampai 3,4 mm/s, sedangkan persentase penurunan berada pada rentang 30% sampai 73%.

Penurunan terbesar terjadi pada *bearing 2* arah *aksial*, yaitu sebesar 73%, sedangkan penurunan terkecil terjadi pada *bearing 1* arah *horizontal*, yaitu sebesar 30%. Meskipun besar penurunan pada masing-masing titik berbeda, seluruh titik menunjukkan pola yang sama, yaitu nilai getaran sesudah *overhaul* selalu lebih rendah dibandingkan sebelum *overhaul*.



Gambar 4.15 Diagram Perbandingan Getaran Sebelum dan Sesudah *Overhaul*

Secara umum, hasil perbandingan menunjukkan bahwa *overhaul* memberikan pengaruh terhadap perubahan tingkat getaran *bearing* turbin uap. Apabila sebagian besar titik pengukuran mengalami penurunan getaran, maka dapat dikatakan bahwa *overhaul* berhasil memperbaiki kondisi mekanis turbin. Penurunan ini menunjukkan bahwa tindakan perbaikan seperti pembersih komponen, pergantian bearing yang aus, pemeriksaan kelurusan poros, dan perbaikan sistem pelumasan memberikan dampak positif terhadap kestabilan operasi turbin.

4.4 Pembahasan

4.4.1 Analisis Kondisi Getaran *Bearing* Sebelum *Overhaul*

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa rata-rata tingkat getaran bearing turbin uap sebelum dilakukan *overhaul* sebesar 4,4 mm/s. Nilai ini menunjukkan bahwa kondisi bearing telah mengalami penurunan performa sehingga menghasilkan getaran yang relatif tinggi. Nilai getaran tertinggi terdapat pada *bearing* 1 arah *vertikal* sebesar 5,6 mm/s, sedangkan nilai terendah berada pada *bearing* 1 arah *aksial* dan *bearing* 2 arah *vertikal* sebesar 3,6 mm/s.

Tingginya tingkat getaran sebelum *overhaul* mengindikasikan adanya gangguan pada sistem rotor-*bearing*. Kondisi tersebut dapat disebabkan oleh beberapa faktor, seperti keausan bearing akibat umur operasi, ketidakseimbangan rotor (*unbalance*), ketidaksejajaran poros (*misalignment*), kelonggaran mekanis (*mechanical looseness*), maupun gangguan pada sistem pelumasan. Apabila kondisi

tersebut tidak segera ditangani, maka getaran yang tinggi dapat mempercepat kerusakan komponen, meningkatkan temperatur *bearing*, serta menurunkan efisiensi dan keandalan turbin.

4.4.2 Analisis Kondisi Getaran *Bearing* Setelah *Overhaul*

Setelah dilakukan *overhaul*, rata-rata tingkat getaran bearing menurun menjadi 2,3 mm/s. Penurunan ini menunjukkan bahwa proses *overhaul* berhasil memperbaiki kondisi mekanis turbin, terutama pada sistem rotor dan *bearing*. Seluruh titik pengukuran mengalami penurunan nilai getaran, yang menandakan bahwa tindakan perawatan memberikan pengaruh positif terhadap kestabilan operasi turbin.

Selama proses *overhaul* dilakukan pemeriksaan menyeluruh terhadap bearing, pembersihan komponen, penyetelan kembali alignment poros, pemeriksaan *clearance bearing*, pengencangan baut dudukan, serta pengecekan sistem pelumasan. Perbaikan tersebut menyebabkan putaran poros menjadi lebih stabil sehingga gaya dinamis yang bekerja pada *bearing* berkurang dan amplitudo getaran menurun.

Seluruh hasil pengukuran menunjukkan kondisi yang jauh lebih baik dibandingkan sebelum *overhaul*. Hal ini menunjukkan bahwa *overhaul* berhasil mengurangi sumber-sumber gangguan mekanis yang sebelumnya menyebabkan peningkatan getaran.

4.4.3 Perbandingan Tingkat Getaran Sebelum dan Sesudah *Overhaul*

Hasil penelitian menunjukkan bahwa seluruh titik pengukuran mengalami penurunan getaran setelah *overhaul*. Nilai rata-rata getaran turun dari 4,4 mm/s menjadi 2,3 mm/s.

Penurunan terbesar terjadi pada *bearing* 1 arah *vertikal* sebesar 73%, sedangkan penurunan terkecil terjadi pada *bearing* 1 arah *aksial* sebesar 30%. Perbedaan persentase penurunan pada setiap titik dipengaruhi oleh kondisi awal masing-masing bearing, tingkat keausan komponen, serta hasil penyetelan yang diperoleh selama proses *overhaul*.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa *overhaul* memberikan pengaruh yang signifikan terhadap penurunan tingkat getaran bearing. Penurunan ini menandakan bahwa kondisi mekanis rotor-bearing menjadi lebih baik sehingga putaran poros

menjadi lebih seimbang dan stabil. Dengan berkurangnya getaran, beban dinamis yang diterima bearing juga berkurang sehingga potensi kerusakan komponen dapat diminimalkan.

4.4.4 Evaluasi Berdasarkan Standar ISO 10816

Apabila dibandingkan dengan standar ISO 10816 sebagai acuan evaluasi kondisi mesin berputar, nilai getaran sebelum overhaul menunjukkan bahwa kondisi turbin berada pada kategori yang memerlukan perhatian karena tingkat getaran relatif tinggi. Setelah dilakukan overhaul, nilai getaran mengalami penurunan sehingga kondisi operasi menjadi lebih baik dan lebih aman untuk dioperasikan.

Walaupun klasifikasi pada ISO 10816 dipengaruhi oleh jenis mesin, daya, dan kondisi pemasangan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa overhaul mampu menggeser kondisi operasi turbin menuju tingkat getaran yang lebih rendah. Hal tersebut membuktikan bahwa kegiatan overhaul efektif dalam meningkatkan performa dan keandalan turbin uap.

4.4.5 Implikasi Hasil Penelitian Terhadap Sistem Pemeliharaan

Penurunan tingkat getaran sebesar 73% menunjukkan bahwa pengukuran getaran dapat digunakan sebagai parameter utama dalam mengevaluasi keberhasilan kegiatan overhaul. Semakin rendah nilai getaran setelah dilakukan perawatan, semakin baik kondisi mekanis sistem rotor-bearing.

Hasil penelitian ini juga mendukung penerapan predictive maintenance dan condition-based maintenance pada turbin uap. Dengan melakukan pemantauan getaran secara berkala, perusahaan dapat mendeteksi gejala awal kerusakan sebelum terjadi kegagalan yang lebih serius. Strategi ini dapat mengurangi risiko *unscheduled shutdown*, memperpanjang umur pakai bearing, menekan biaya perawatan, serta meningkatkan keandalan operasi turbin.

Secara keseluruhan, penelitian ini membuktikan bahwa overhaul merupakan tindakan pemeliharaan yang efektif dalam memperbaiki kondisi bearing turbin uap. Penurunan tingkat getaran setelah overhaul menunjukkan bahwa sistem rotor-bearing kembali bekerja dengan lebih stabil sehingga performa turbin meningkat dan risiko kerusakan dapat diminimalkan.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat diperoleh beberapa kesimpulan:

1. Tingkat getaran bearing turbin uap sebelum dilakukan overhaul berada pada rentang 3,6–5,6 mm/s, dengan nilai rata-rata sebesar 4,4 mm/s. Nilai getaran tertinggi terdapat pada bearing 1 arah vertikal sebesar 5,6 mm/s, sedangkan nilai terendah terdapat pada bearing 1 arah aksial dan bearing 2 arah vertikal sebesar 3,6 mm/s. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa sebelum overhaul tingkat getaran bearing masih relatif tinggi dan perlu dilakukan tindakan pemeliharaan.
2. Tingkat getaran bearing turbin uap sesudah dilakukan overhaul mengalami penurunan pada seluruh titik pengukuran. Nilai getaran sesudah overhaul berada pada rentang 1,2–3,2 mm/s, dengan nilai rata-rata sebesar 2,3 mm/s. Nilai tertinggi terdapat pada bearing 2 arah horizontal sebesar 3,2 mm/s, sedangkan nilai terendah terdapat pada bearing 2 arah aksial sebesar 1,2 mm/s. Penurunan pada seluruh titik pengukuran menunjukkan bahwa kondisi mekanis bearing dan kestabilan putaran poros menjadi lebih baik setelah dilakukan overhaul.
3. Perubahan tingkat getaran bearing akibat proses overhaul menunjukkan adanya penurunan pada seluruh titik pengukuran. Selisih penurunan getaran berada pada rentang 1,1–3,4 mm/s, sedangkan persentase penurunan pada masing-masing titik berada pada rentang 30%–73%. Penurunan terbesar terjadi pada bearing 2 arah aksial sebesar 73%, sedangkan penurunan terkecil terjadi pada bearing 1 arah horizontal sebesar 30%. Secara keseluruhan, nilai rata-rata getaran turun dari 4,4 mm/s sebelum overhaul menjadi 2,3 mm/s sesudah overhaul,

5.2 Saran

Adapun saran untuk penelitian tugas akhir ini yaitu sebagai berikut:

1. Pemantauan getaran sebaiknya dilakukan secara berkala pada bearing turbin uap, terutama pada arah horizontal, vertikal, dan aksial. Pengukuran secara rutin dapat membantu mendeteksi peningkatan getaran sejak dini sehingga kerusakan bearing dapat segera ditangani.
2. Hasil pengukuran getaran perlu didokumentasikan secara konsisten sebelum dan sesudah kegiatan perawatan. Data historis tersebut dapat digunakan sebagai dasar untuk mengetahui kecenderungan perubahan kondisi bearing dan menentukan jadwal pemeliharaan berikutnya.
3. Penelitian selanjutnya disarankan menambahkan parameter kondisi lainnya, seperti temperatur bearing, tekanan dan kondisi oli pelumas, putaran turbin, serta kondisi alignment poros. Penambahan parameter tersebut dapat memberikan analisis yang lebih lengkap mengenai faktor penyebab perubahan tingkat getaran.

DAFTAR PUSTAKA

- Apriandi, R., & Mursadin, A. (2023). Analisis Kinerja Turbin Uap Berdasarkan Performance Test Pltu Pt. Indocement P-12 Tarjun. *Scientific Journal of Mechanical Engineering Kinematika*, 1(1), 37–46. <https://doi.org/10.20527/sjmekinematika.v1i1.26>
- Berahmana, K. S. (2021). Analisis Getaran Pada Aliran Pipa Akibat Pemasangan Turbine Propeller. *AME (Aplikasi Mekanika Dan Energi): Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 7(1), 9. <https://doi.org/10.32832/ame.v7i1.3667>
- Cahyono, B., Priyanta, D., & Ramadhan, F. R. F. (2021). Vibration Spectrum Analysis for Indicating Damage on Turbine and Steam Generator Amurang Unit 1. *International Journal of Marine Engineering Innovation and Research*, 2(1). <https://doi.org/10.12962/j25481479.v2i1.2688>
- Emeraldo Rafi Ramadhan 1, S. A. (2023). ANALISIS PERBAIKAN TURBIN UAP 61-101-JT DI PT. PUPUK ISKANDAR MUDA Emerald. *JURNAL TEKTRONIKA*, 7(2), 153–156.
- Erapabrianto, E., Badaruddin, B., & Heryanto, H. (2019). Analisis Penyebab Vibrasi Abnormal Generator PLTG 4.1 PADA PT.PJB Unit Pembangkitan Muara Tawar. *Jurnal Teknologi Elektro*, 10(2), 137. <https://doi.org/10.22441/jte.v10i2.008>
- Febriansyah, A., & Yunanda, A. B. (2025). SIMULASI SISTEM KEAMANAN DAN KENDALI GERBANG OTOMATIS PADA PORTAL PERUMAHAN MENGGUNAKAN TEKNOLOGI TANPA KUNCI BERBASIS IOT. *Journal of Computer Science and Information Technology*, 2(3), 324–337.
- Gede Eka Lesmana, I., Chairunisa, F., Hartanto, M. P., & Rovida Camalia, H. (2022). Pengaruh Getaran Pompa Terhadap Aliran Fluida pada Proses Pemipaan Skala LaborApriandi, R., & Mursadin, A. (2016). Analisis Kinerja Turbin Uap Berdasarkan Performance Test Pltu Pt. Indocement P-12 Tarjun. *Scientific Journal of Mechanical Engineering Kinem. Jurnal Asimetrik: Jurnal Ilmiah Rekayasa Dan Inovasi Analisis*, 4, 201–208.
- Gordon. (2019). Bab 2 Tinjauan Pustaka. *Pontificia Universidad Catolica Del Peru*, 8(33), 44.

- Isranuri, I., Michael, & Sabri, M. (2019). Analisa Data Vibrasi Untuk Mengidentifikasi Kondisi dan Symtom Pada Generator Turbin Gas Siemens V 94.2 Pembangkit Listrik Tenaga Uap. *Dinamis*, 7(3), 10. <https://doi.org/10.32734/dinamis.v7i3.7193>
- Iswahyudi, Y. (2020). Analisis Pengaruh Vibrasi Terhadap Performa Boiler Feedwater Pump (Bfp) 3B Pltu Asam Asam. *Jtam Rotary*, 2(2), 235. https://doi.org/10.20527/jtam_rotary.v2i2.2418
- Kulo, F. A., Palilingan, R. N., & Bujung, C. A. N. (2023). Perbandingan Efisiensi Cooling Tower Unit 2 PLTP Lahendong Sebelum dan Sesudah Overhaul. *Jurnal FisTa : Fisika Dan Terapannya*, 4(1), 22–29. <https://doi.org/10.53682/fista.v4i1.239>
- Ohoirenana, W., Rettob, E. A., & Rombekila, A. (2022). Pengaruh Vibrasi Terhadap Daya Mesin Diesel SWD 6TM 410 RR. *Jurnal Sosial Dan Teknologi Terapan AMATA*, 1(2), 29–34. <https://doi.org/10.55334/sostek.v1i2.328>
- Perwira, D. A., Zulkarnain, A., & Prasetya, H. W. (2024). *Comparative Study of Life Cycle Between New Bearings and Overhaul Bearings on Train Wheels at Balai Yasa Manggarai*. 98–107. https://doi.org/10.2991/978-94-6463-384-9_10
- Prabowo, N. R. (2014). *Analisa Karakteristik Prinsip Kerja dan Performance Turbin Uap Pada Mesin Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi*.
- Prabowo, H., & Santoso, D. (2018). Analisis getaran sebagai metode pemantauan kondisi mesin berputar. *Jurnal Teknik Mesin*, 12(2), 67–74.
- Putra, A. R., & Nugroho, S. (2021). Analisis hubungan getaran bearing terhadap kinerja turbin uap pada pembangkit listrik. *Jurnal Teknik Mesin Indonesia*, 16(1), 23–31.
- Setyawan, H. P., & Suryadi, D. (2018). Analisis Karakteristik Vibrasi pada Paper Dryer Machine untuk Deteksi Dini Kerusakan Spherical Roller Bearing. *Rotasi*, 20(2), 110. <https://doi.org/10.14710/rotasi.20.2.110-117>
- Bently, D.E., Hatch, C.T. (2002). *Fundamentals of Rotating Machinery Diagnostics*. Bently Pressurized Bearing Press.

Siregar, C. A., Siregar, A. M., & Amri, A. F. (2024). Rancang Bangun Mesin Buah Sortir Jeruk Berdasarkan Ukuran Standart Buah Jeruk dengan Kapasitas Penyortiran 500kg/Jam. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi*, 7(1), 176-183.



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

Bila menjabar surat ini agar disebutkan nomor dan tanggalnya

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.Pg/PT/M/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 PENGHUIJUKAN
DOSEN PEMBIMBING**

Nomor : 2174/II.3AU/UMSU-07/F/2025

Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, berdasarkan rekomendasi Atas Nama Ketua Program Studi Teknik MESIN Pada Tanggal 29 Oktober 2025 dengan ini Menetapkan :

Nama : M RIFKIANDA PUTRA
Npm : 2207230060
Program Studi : TEKNIK MESIN
Semester : 7 (Tujuh)
Judul Tugas Akhir : PERBANDINGAN TINGKAT GETARAN BEARING TURBIN
UAP SEBELUM DAN SESUDAH OVERHAUL.

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, 07 Jumadil Awal 1447 H

29 Oktober 2025 M



Ir. Ade Faisal, ST., M.Sc., Ph.D

NIDN: 0123097203



Lampiran 2. Lembar Asistensi

Judul : Studi perbandingan tingkat getaran bearing turbin uap
sebelum dan sesudah overhaul

Nama : M. Rifkianda putra

NPM : 2207230060

Dosen Pembimbing : Chandra A. Siregar, S.T., M.T

NO	Hari/Tanggal	Kegiatan	Paraf
1.	21/11 - 2025	Perbaiki format	1
2.	21/12 - 2025	perbaiki bab 1	1
3.	30/1 - 2026	perbaiki bab II	1
		ACC Simpnn	1
4.	15/3 - 2026	Perbaiki format	1
5.	25/5 - 2026	Perbaiki bab IV	1
6.	25/6 - 2026	ACC Gambhas	1
7.		ACC Sidang	1

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

Nama : M.Rifkianda Putra
NPM : 2207230060
Judul Tugas Akhir : Studi Perbandingan Tingkat Getaran Bearing Turbin Uap Sebelum Dan Sesudah Overhaul

TANDA TANGAN TIM DOSEN PENGUJI:

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

Pembimbing - I : Ahmad Marabdi Siregar, S.T., M.T.

Pembimbing - II : Arya Rudi Nasution, S.T., M.T.

No	NPM	Nama Mahasiswa	Tanda Tangan
1	2107230059	ANGGA BAGASTAMA HARAHAP	1.
2	2107230067	MUHAMMAD MURDIAH HAMDY	2.
3	1907230076	Rahmat Dhatmawan	3.
4	2207230106	MAGHDAFIQIA ARYA PRADIETA	4.
5	2207230044	NAULARA JOKO PRIANTO	5.
6	2207230077	FEBRIAN ISMA'IL	6.
7	2207230098	FARHAN ADAM SUFI	7.
8			8.
9			9.
10			10.

Medan, 31 Juli 2026
Ketua Prodi. Teknik Mesin

(.....)

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

Nama : M.Rifkianda Putra
NPM : 2207230060
Judul Tugas Akhir : Studi Perbandingan Tingkat Getaran Bearing Turbin Uap Sebelum Dan Sesudah Overhaul
Dosen Pembimbing - I : Chandra Amirsyah P. Siregar, S.T., M.T.
Dosen Pembimbing - I : Ahmad Marabdi Siregar, S.T., M.T.
Dosen Pembimbing - II : Arya Rudi Nasution, S.T., M.T.

KEPUTUSAN / REKOMENDASI HASIL EVALUASI:

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

Catatan Perbaikan / Temuan Penguji :

perbaiki :
- lengkapi hubungan persentase
.....
.....
.....

Diketahui:
Ketua Prodi. Teknik Mesin

(.....)

Medan, 31 Juli 2026
Dosen Pembimbing - I


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

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

Nama : M.Rifkianda Putra
NPM : 2207230060
Judul Tugas Akhir : Studi Perbandingan Tingkat Getaran Bearing Turbin Uap Sebelum Dan Sesudah Overhaul
Dosen Pembimbing - I : Chandra Amirsyah P. Siregar, S.T., M.T.
Dosen Pembimbing - I : Ahmad Marabdi Siregar, S.T., M.T.
Dosen Pembimbing - II : Arya Rudi Nasution, 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 :

— Lihat Catatan pada Buku Skripsi

Diketahui:
Ketua Prodi. Teknik Mesin

(.....)

Medan, 31 Juli 2026
Dosen Pembimbing - II



Arya Rudi Nasution, S.T., M.T.

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



A. DATA PRIBADI

Nama : M. Rifkianda Putra
Alamat : Dusun V Desa Pulau Gambar Kec. Serbajadi
Kab. Serdang Bedagai Sumatera Utara
Tempat/Tgl Lahir : Pulau Gambar, 26 September 2004
Umur : 21 Tahun
Agama : Islam
Status : Belum Menikah
Email : muhammadrifkii9904@gmail.com
Kewarganegaraan : Indonesia
No. Telp : 081374416316
Moto Hidup : “Setiap Langkah Kecil Yang Dilanjutkan Hari
Demi Hari Akan Membawa Ke Tempat Yang
Jauh.”

B. RIWAYAT PENDIDIKAN

Tahun 2010-2016 SDN 105390 Pulau Gambar
Tahun 2016-2019 MTS Al-Washliyah Pulau Gambar
Tahun 2019-2022 SMAN 1 Serbajadi
Tahun 2022-2026 Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara